

**MEMORIAS DEL**  
***XIII CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL***  
***CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA***  
**4 AL 7 DE JUNIO 2018**  
**SAN JOSÉ, COSTA RICA**

**ISBN: 978-9930-541-32-6**

**Editora:**  
**Karolina Villagra-Mendoza**

## COMITÉ ORGANIZADOR

### **Milton Solórzano Quintana**

Escuela de Ingeniería Agrícola Instituto  
Tecnológico de Costa Rica (TEC)  
Director CLIA2018

### **Roger García Quirós**

Asociación Costarricense de Ingenieros Agrícolas  
(ACIA)  
Presidente CLIA2018

### **Natalia Gómez Calderón**

Escuela de Ingeniería Agrícola Instituto  
Tecnológico de Costa Rica (TEC)  
Asociación Profesional de Ingenieros Agrícolas  
graduados del Instituto Tecnológico de Costa Rica  
(APIATEC)

### **Karolina Villagra Mendoza**

Escuela de Ingeniería Agrícola Instituto  
Tecnológico de Costa Rica (TEC)

### **Francisco Sedó León**

Asociación Costarricense de Ingenieros Agrícolas  
(ACIA)

## COMITÉ CIENTÍFICO

Alfonso Parra Coronado, PhD (UNC, Colombia)

Alejandra Rojas González, PhD (UCR, Costa Rica)

Álvaro Ramírez Gómez, PhD (UPM, España)

Armando Alvarado Chaves, Med (ITCR, Costa  
Rica)

Carlos Manuel Benavidez León, MSc (UCR, Costa  
Rica)

Carlos Rojas, PhD (UCR, Costa Rica)

Cristiano Zerbato, PhD (UNESP, Brasil)

Eduardo Flores Condori, PhD (UN Altiplano-  
Puno, Perú)

Edwin Solórzano, MSc (UCR, Costa Rica)

Evandro de Castro Melo, PhD (UFV, Brasil)

Fedro Zazueta, PhD (UFL, USA)

Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e  
Industriales (CIEMI)

### **Alfonso Brenes Gámez**

Asociación Costarricense de Ingenieros Agrícolas  
(ACIA)  
Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e  
Industriales (CIEMI)

### **Roberto Spesny Garrón**

Asociación Costarricense de Ingenieros Agrícolas  
(ACIA)  
Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e  
Industriales (CIEMI)

### **Guillermo Vargas Elías**

Universidad de Costa Rica (UCR)

### **Geovanni Carmona Villalobos**

Universidad de Costa Rica (UCR)

### **Warner Rodríguez Chacón**

Asociación Latinoamericana y del Caribe de  
Ingeniería Agrícola (ALIA)

Fernando Mendes Botelho, PhD (UFMT, Brasil)

Francisco Aguilar Pereira, MSc (UCR, Costa Rica)

Francisco Marín Thiele, MSc (ProNAP-MAG,  
Costa Rica)

Franklin Aguilar, MSc (UCR, Costa Rica)

Gabriel Henrique Horta de Oliveira, DSc (Instituto  
Federal do Sudeste de Minas Gerais, Brasil)

Guido Fernando Botta , PhD (UBA y UNLU,  
Argentina)

Guillermo Vargas Elías, MSc (UCR, Costa Rica)

Isabel Guzman Arias, PhD (ITCR, Costa Rica)

Iván Darío Aristizábal Torres, PhD (UNC,  
Colombia)

Jose Eugenio Hernández Hernández, MSc (UNAL,  
Colombia)

Jose Guillermo Murillo, MSc (FAO, Costa Rica)

José Paulo Molin, PhD (USP, Brasil)

Júlio Cezar Machado Baptestini, PhD (UFV y IFES, Brasil)

Kattia Solís, DSc (UCR, Costa Rica)

Laura Benegas Negri, PhD (CATIE, Costa Rica)

Marvin Barrantes, MSc (Senara, Costa Rica)

Marvin Villalobos Araya, MSc (ITCR, Costa Rica)

Mauricio Bustamante Román, PhD (UCR, Costa Rica)

Pedro Casanova, DSc (UCR, Costa Rica)

Roel Campos Rodríguez, PhD (ITCR, Costa Rica)

Ronald Jiménez, MSc (UCR, Costa Rica)

Rouverson Pereira da Silva, PhD (UNESP y FCAV, Brasil)

Santos Gabriel Campos Magaña, PhD (UAAAN, México)

Silvia de Carvalho Campos Botelho, PhD (Embrapa, Brasil)

Sonia Castro, MSc (Senara, Costa Rica)

Werner Rodríguez Montero, PhD (UCR, Costa Rica)

William J. Watler R, PhD (CATIE, Costa Rica)

### **CITACIÓN SUGERIDA**

Autor, A., & Autor, A. Fecha. Título de la ponencia. En Villagra-Mendoza, K (Ed.). *Título del simposio o congreso*. Lugar y fecha.

Ejemplo: Vargas-Elías, G. 2018. Adaptação de um modelo de temperatura dos grãos de café na torrefação. En Villagra-Mendoza, K. (Ed.), XIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola (CLIA2018), San José Costa Rica del 4 al 7 de junio.

## TABLA DE CONTENIDO

EDUCACIÓN EN LA INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DE BIOSISTEMAS.....	11
SISTEMA DE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DE LOS PROFESORES DE LA UAAAN PARA MEDICIÓN DE IMPACTOS EN LOS DEPARTAMENTOS ACADÉMICOS .....	12
ENERGÍA, BIOMASA Y MANEJO DE RESIDUOS .....	23
ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO UTILIZANDO PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO) RECICLADO.....	24
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE SEMILLAS DE <i>ARGEMONE PLEIACANTHA GREENE</i> .....	34
FAMILIAS TÉRMICAS SOLARES PARA PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES EN LA REGIÓN HUETAR NORTE DE COSTA RICA: PROGRAMA LOCAL PILOTO .....	42
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE RÁPIDO CRECIMIENTO DE COSTA RICA EN UN PROCESO DE GASIFICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	50
EVALUACIÓN DE UN GENERADOR ELÉCTRICO ACCIONADO POR UNA BICICLETA ESTÁTICA. ....	63
GEO INFORMÁTICA .....	73
GENERACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL CON FOTOGRAMETRÍA UAS .....	74
SEPARAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DE CAFEEIROS UTILIZANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO ATRAVÉS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA .....	85



APLICACIÓN DE UN SIG EN EL INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA EN CAMPOS EXPERIMENTALES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.....	94
APLICACIÓN DE IDC (INTERNET DE LAS COSAS) PARA LA TOMA DE DECISIONES CONSIDERANDO LAS MEDICIONES DE LIXIVIADO Y CONDUCTIVIDAD.....	104
ESTRATEGIA DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA.....	112
SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM DE UMA LAVOURA CAFEEIRA OBTIDA POR CÂMERA CONVENCIONAL A BORDO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA.....	123
CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CUENCA DEL RIO SUCIO-OCCIDENTE ANTIOQUEÑO, PERIODO 2010 A 2017 MEDIANTE SENSORES REMOTOS. ....	130
MONITOREO DEL CULTIVO DE PIÑA EN COSTA RICA, PARA EL PERIODO 2000-2015, VINCULADO AL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION TERRITORIAL .....	140
CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA A TRAVÉS DE FOTOGAMETRÍA UAS .....	149
CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA TRAZAR CURVAS DE NIVEL EN UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO.....	160
COMPARAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO POR MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA E RANDOM FOREST .....	171
<b>INFRAESTRUCTURA RURAL Y AMBIENTES PROTEGIDOS.....</b>	<b>180</b>
AMBIENTE TERMO ACÚSTICO DE CRECHES COM DIFERENTES TIPOLOGIAS PARA ALOJAMENTO DE LEITÕES .....	181
DESARROLLO RURAL INTEGRADO Y SOSTENIBLE: CASO PERUANO.....	189

ESFUERZO DE FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PROCEDENTES DEL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA .....	202
INGENIERÍA DE SUELO Y AGUA .....	212
TAXA DE INFILTRAÇÃO ESTÁVEL EM DIFERENTES UNIDADES DE MAPEAMENTO E USOS DO SOLO NO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, BRASIL ....	213
EFEITO DO PARQUE ESTADUAL DA LAPA GRANDE, MONTES CLAROS-MG, NO AUMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LAPA GRANDE .....	223
ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDAL AMBIENTAL EN COSTA RICA .....	234
ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA (MINAS GERAIS, BRASIL) .....	245
USO DE GÁS CARBÔNICO E HIDRÓXIDO DE CALCIO NA REMOÇÃO DE DUREZA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO .....	254
ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE FLÚOR SOBRE GFH EN AGUA AGRÍCOLA	263
EFFECTO DE LABRANZA DE CONSERVACION EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD TOTAL DE UN SUELO FRANCO ARCILLOSO BAJO PRODUCCION DE FRIJOL ( <i>PHASEOLUS VULGARIS</i> ) .....	273
EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA DE RIESGO AGROCLIMÁTICO COMO INSTRUMENTO DE TOMA DE DECISIONES EN EL ESTABLECIMIENTO DE PROYECTOS AGROPECUARIOS PRODUCTIVOS EN EL MARCO DE LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO CON ENFOQUE TERRITORIAL EN COLOMBIA .....	282

ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD DE MODELOS DE SIMULACION, EN EVALUACIONES A CAMPO DE RIEGO GRAVITACIONAL TRADICIONAL Y PULSOS.....	294
IMPACTS OF CLIMATE CHANGES ON THE SUSTAINABILITY OF IRRIGATED AREAS OF THE WATER-STRESSED BASIN, BRAZIL.....	309
MODELO HIDRÁULICO PARA REDES DE CANALES CON ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS .....	318
<b>MAQUINARIA AGRÍCOLA Y AGROINDUSTRIAL .....</b>	<b>327</b>
IMPORTANCIA DE LA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS EN MECANIZACIÓN AGRÍCOLA .....	328
TRÁFICO DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA: EFECTO SOBRE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO Y LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ ( <i>ZEA MAYS L.</i> ) EN LA REGIÓN PAMPERA ARGENTINA .....	341
DISEÑO Y PRUEBA DE UNA MÁQUINA REBANADORA DE NOPAL FORRAJERO .....	351
DESIGN AND TEST OF A FORAGE NOPAL SLICING MACHINE.....	351
PRUEBAS DE CAMPO EN LA COSECHA MECANIZADA DE AGAVE .....	362
LAS PÉRDIDAS POR ESFUERZO DE RODADURA EN SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA .....	372
SISTEMA DE MEDICIÓN DE RENDIMIENTO PARA MAQUINARIA AGRÍCOLA Y CABALLOS DE TIRO PESADO .....	381
SUBSOLADORES E SUA RELAÇÃO ESPACIAL COM A MOBILIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DA PALHADA EM SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO ..	391
MAPEAMENTO DE POTENCIAIS ÁREAS MECANIZÁVEIS PARA CAFEICULTURA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	400

ANÁLISIS MECÁNICO Y GEOMÉTRICO DEL DISEÑO DE UNA MAQUINA QUEBRADORA DE NUEZ DE MACADAMIA.....	408
MODELAGEM DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO EM DIFERENTES OPERAÇÕES MECANIZADAS DA CAFEICULTURA.....	421
SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y POSTCOSECHA.....	431
CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO EN EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA (OREOCHROMIS MOSSAMBICUS) Y LECHUGA CRESPA (LACTUCA SATIVA).....	432
CONECTANDO CAFICULTORES CON EL MUNDO Y AL MUNDO CON LAS GRANJAS CAFETERAS. CALIDAD, TRANSPARENCIA E IMPACTO SOCIAL..	442
EVALUACIÓN DE TAMAÑO DE EMPAQUE EN LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE LA FRESA ( <i>FRAGARIA X ANANASSA</i> ) VARIEDAD ALBIÓN	452
EVALUACIÓN DE HOJAS DE AMERO EN LULO ( <i>SOLANUM QUITOENSE LAM.</i> ) COMO EMPAQUE PARA MEJORAMIENTO DE RESISTENCIA MECÁNICA.....	463
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE MANDARINA ARRAYANA ( <i>CITRUS RETICULATA</i> ) DESVERDIZADO CON ETILENO EXÓGENO DE INMERSIÓN.	473
EFFECTO DE INDUCTORES FLORALES EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE FRUTOS DE MANGO CV. TOMMY ATKINS .....	483
HOW SHOULD BE PERFORMED THE PRUNING PRACTICE IN <i>OPUNTIA ALBICARPA</i> (L.) SCHEINVAR VARIETY ‘CRISTALINA’?.....	492
DESEMPEÑO DIFERENCIAL DEL TIPO DE BOQUILLA A LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN Y LA REDUCCIÓN DE LA DERIVA.....	503
EXTRACCIÓN E INMOVILIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE FLOR DE JAMAICA PARA SU APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRESA ( <i>FRAGARIA ANANASSA</i> ).....	514

DIFERENCIA ENTRE APLICAR AIRE CALIENTE Y AIRE MEDIO HUMIDIFICADO COMO TECNOLOGÍA DE POSCOSECHA EN LA CALIDAD DE LA FEIJOA ( <i>ACCA SELLOWIANA</i> ).....	524
EFFECTOS DEL PROCESO HTST EN EL SECADO CONVECTIVO DE UCHUVA ( <i>PHYSALIS PERUVIANA</i> ).....	534
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SUSTRATO BAJO DOS LÁMINAS DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA FRESA ( <i>FRAGARIA X ANANASSA VAR. MONTEREY Y VAR. ALBIÓN</i> ) .....	544
EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE ESTRATEGIAS DE AIREACIÓN NATURAL Y REFRIGERACIÓN DE ARROZ ALMACENADO BAJO LAS CONDICIONES TROPICALES DE COSTA RICA .....	556
APLICACIÓN DE LA RIZIPISCICULTURA EN EL SISTEMA PRODUCTIVO AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE). .....	568
DETERMINACIÓN DE FIRMEZA EN AGRAZ ( <i>VACCINIUM MERIDIONALE</i> ) DURANTE SU ALMACENAMIENTO CON ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO.....	577
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO DÉFICIT DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS EM MINAS GERAIS, BRA .....	586
CONECTANDO CAFICULTORES CON EL MUNDO Y AL MUNDO CON LAS GRANJAS CAFETERAS. CALIDAD, TRANSPARENCIA E IMPACTO SOCIAL..	597
DISCRIMINACIÓN ESPECTRAL DE HOJAS DE SORGO ( <i>SORGHUM VULGARE L.</i> ) NO INFESTADAS E INFESTADAS POR PULGÓN DEL COGOLLO ( <i>RHOPALOSIPHUM MAIDIS</i> ). .....	607
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LECHE DE CABRA EN HUILA-COLOMBIA .....	617
ACEITABILIDADE DE BLENDS DE CAFÉ SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE TORRA.....	630

CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE PAPAYA Y LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE DURANTE EL SECADO..... 640

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE UNA PULPA MANGO 100% NATURAL PASTEURIZADA EN EMPAQUES RETORTABLES ..... 649

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE SECADO DE SEMILLAS DE PAPAYA SIN MUCÍLAGO ..... 660

CINETICA DEL SECADO CON AIRE CALIENTE EN SEMILLA DE PAPAYA LOW TEMPERATURE AIR DRYING KINETICS IN PAPAYA SEEDS ..... 671

ADAPTAÇÃO DE UM MODELO DE TEMPERATURA DOS GRÃOS DE CAFÉ NA TORREFAÇÃO..... 681

NUEVO MODELO MATEMÁTICO DE CALENTAMIENTO DE LOS GRANOS DE CAFÉ DURANTE EL TOSTADO..... 691

CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN POSOS DE CAFÉ MEXICANO PROCEDENTE DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL..... 702

RESÚMENES EXTENDIDOS PUBLICADOS EN TECNOLOGÍA EN MARCHA: . 713

## **EDUCACIÓN EN LA INGENIERÍA AGRÍCOLA Y DE BIOSISTEMAS**

## **SISTEMA DE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DE LOS PROFESORES DE LA UAAAN PARA MEDICIÓN DE IMPACTOS EN LOS DEPARTAMENTOS ACADÉMICOS**

**B. Elizabeth de la Peña**, Martín Cadena, Rubén Chavez, Tomás Gaytán  
bedelapena@gmail.com, Tel. 8441608239, México

### **RESUMEN**

El Sistema de Indicadores para el aseguramiento de la calidad en la UAAAN, se establecen con la finalidad de medir el trabajo desarrollado por los miembros de los 31 Departamentos Académicos, se utilizó un modelo matemático que privilegia los resultados de la productividad académica e impulsa la calidad de la oferta educativa a través de 25 indicadores divididos en 4 grupos que son: Dimensión, Eficacia, Calidad Académica e Investigación y Desarrollo. El modelo asigna un peso específico a cada una de estos grupos de indicadores, para la parte de Dimensión con un valor relativo del 25%, considerando: PTC adscritos, PTC activos, grupos atendidos, alumnos atendidos, laboratorios que operan y alumnos tutorados; el de Eficacia con un valor relativo del 20%, considerando: tesis de licenciatura y tesis de postgrado; la Calidad Académica con un valor relativo del 30%, considerando: Nivel promedio de estudios, ProDEP, SNI, programas acreditados de licenciatura, programas en el PNPC, Redes, cuerpos académicos en formación, en consolidación y consolidados; y con respecto a la Investigación y Desarrollo con un valor relativo del 25%, considerando: publicaciones de: artículos, libros, memorias, documentos institucionales, paquetes tecnológicos, aportación por proyectos especiales y protección de la propiedad intelectual.

Los resultados obtenidos permiten la toma de decisiones de los directivos de la institución en tiempo y forma, asignar recursos para la operación anual en base a resultados de productividad y conocer los indicadores en los cuales cada departamento es líder.

**Palabras Clave:** Aseguramiento de la calidad, Indicadores de calidad, Productividad Académica.



## UAAAN Teacher Productivity Indicators System for Impact Measurement in Academic Departments

**B. Elizabeth de la Peña**, Martín Cadena, Rubén Chavez, Tomás Gaytán  
bedelapena@gmail.com, Tel. 8441608239, México

### ABSTRACT

The system of indicators for the quality assurance in the UAAAN, are established with the purpose of measuring the work developed by the members of the 31 academic departments, a mathematical model was used that privileges the results of the Academic productivity and promotes the quality of the educational offer through 25 indicators divided into 4 groups that are: dimension, effectiveness, academic quality and research and development. The model assigns a specific weight to each of these groups of indicators, for the part of dimension with a relative value of 25%, considering: PTC attached, PTC actives, groups attended, students attended, laboratories that operate and students tutored; The efficiency with a relative value of 20%, considering: Undergraduate thesis and postgraduate thesis; The academic quality with a relative value of 30%, considering: Average level of studies, ProDEP, SNI, accredited programs of degree, programs in the PNPC, networks, academic bodies in formation, in consolidation and consolidated; And with respect to research and development with a relative value of 25%, considering: publications: articles, books, memoirs, institutional documents, technological packages, special projects contribution and property protection Intellectual.

The results obtained allow the decision making of the directors of the institution in time and form, allocate resources for the annual operation based on productivity results and know the indicators in which each department is leader.

**Key words:** Quality assurance, Quality indicators, Academic productivity.

### INTRODUCCIÓN

La calidad en la Educación Superior en México, establece etapas de la gestión educativa, desde el diagnóstico para la identificación del problema, la de planeación, programación y presupuestación, ejecución y evaluación; lo anterior con el fin establecer compromisos (metas) y dimensionar el esfuerzo que se debe realizar en un periodo determinado, permitiendo por un lado, calcular los recursos necesarios para alcanzar nuestras metas y a partir de éstos, determinar presupuestos y dando seguimiento al cumplimiento de las mismas, así como incorporar aspectos susceptibles de mejora en dichos procesos.

Para el caso particular de la operación de los programas académicos se lleva a cabo una evaluación, con la finalidad de medir el impacto y la calidad de los servicios ofrecidos, así como la eficiencia y eficacia de los programas y políticas educativas. El valor de un indicador da una mayor claridad y transparencia a los compromisos atendidos y forma parte de una serie de requerimientos en los diversos sistemas a los cuales las Instituciones de Educación Superior contribuyen para el cumplimiento de las metas establecidas en cada programa presupuestario. Facilitando la prestación de los servicios, mostrando los avances con la medición de resultados y la toma de decisiones de las autoridades competentes en tiempo y forma.

Los indicadores para mejorar la administración, en cualquier ámbito de acción, el Gobierno Federal, representa un mayor interés sobre el uso de estas herramientas, para evolucionar en el logro educativo y mejorar el diseño, implantación y operación de las políticas públicas del sector. Su uso tiene un sustento de carácter legal, mediante diversos instrumentos jurídicos que reglamentan su aplicación, desde la propia Constitución Política, la Ley General de Educación y otros lineamientos que se han derivado de la reciente reforma educativa, los cuales se fortalece a través del Sistema Nacional de Evaluación Educativa.

Fortaleciendo en todo momento la operación de un Sistema de Información y Gestión Educativa, que permite a los tomadores de decisiones tener una sola plataforma de datos para la planeación, administración y evaluación del sistema educativo.

El documento rector de mediano plazo es el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el Programa Sectorial de Educación 2013-2018, el Programa Transversal para un Gobierno Cercano y Moderno 2013-2018 y en el caso particular el Plan de Desarrollo Institucional 2013-2018 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, lo cuales consideran, objetivos y líneas de acción para fortalecer la gestión pública, encaminados a fortalecer la transparencia y la rendición de cuentas del quehacer público y el uso de los recursos.

Las universidades del tercer milenio abordada desde el 2000 por Salas R, señalaba que estas instituciones deberían considerar cuatro retos:

- I. Equidad, calidad y eficiencia.
- II. Flexibilidad curricular, pertinencia social e investigación profesoral y estudiantil.
- III. Inserción, interacción y compromiso social de la universidad con el país.
- IV. Modernización y descentralización de los procesos académicos-administrativos.

Por lo anterior la universidad del Siglo XXI debe incluir:

- La Internacionalización de la producción y globalización del conocimiento
- El Desarrollo tecnológico (cambios acelerados en las tecnologías)
- Abordar los nuevos paradigmas pedagógicos para la enseñanza, y
- Nuevos paradigmas administrativos y productivos.

Los indicadores de rendimiento académico que se consideran en este artículo, se basan en una revisión teórica, en su mayoría han sido usados en distintos estudios en la educación superior, desde diversas perspectivas, en varias universidades, trabajados por diferentes investigadores, con un enfoque en todo momento la calidad de los servicios de educación que se ofertan en nuestra institución, destacando que desde la década de los 90's de han venido desarrollando en primer lugar, derivado de los procesos de acreditación que se formalizaron en 2002 y hoy por hoy se ven reflejados en sistemas académicos-administrativos, que permiten rendir cuentas en tiempo y forma así como medir los impactos correspondientes.

Beck (1999) señala que en el mundo globalizado conocimiento tiene un lugar especial, citando que se debe valorar de manera creciente el avance teórico y la innovación tecnológica, por lo anterior la inversión en la formación e investigación se vuelve indispensable para la producción y reproducción del sistema social y económico.

Por otra parte el gobierno asigna presupuesto en base a cumplimiento de metas y resultados anualmente, por lo que al interior de la universidad se indica que el presupuesto de egresos se distribuye a partir de la disponibilidad de recursos determinada en el Presupuesto de Ingresos que se recibirá en el presente ejercicio y se elabora aplicando el enfoque de Presupuesto Basado en Resultados (PBR), que bajo el principio del Artículo 134 constitucional, debe administrarse con eficiencia, eficacia, economía, transparencia y honradez; su ejercicio deberá realizarse en estricto apego a la LFPRH, por lo tanto, deberá aplicarse a las actividades que permitan generar los resultados que se definan en los objetivos y metas de cada proyecto, con los recursos que se distribuyen. Lo anterior implica elevar la productividad de los servicios educativos, utilizar los recursos de manera eficaz y eficiente de las actividades académicas y administrativas.

La Unidad de Planeación y Evaluación y la Dirección General Administrativa, podrán establecer mecanismos de previsión y control para las disponibilidades presupuestarias, y su ejercicio, conforme a las normas contenidas en los Artículos 105 y 106 del Reglamento de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, con el fin de no incurrir en diferencias entre lo que se recibe y se distribuye.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Las condiciones en las que tiene lugar la interacción del proceso educativo en la UAAAN, presenta diferencias individuales permitiendo a docentes y estudiantes de las diferentes entidades federativas de nuestro país convivir en un espacio y un momento de aprendizaje que los marcará de por vida, destacando que la UAAAN como Institución de Educación

Pública que recibe presupuesto y subsidio externo, por lo que se encuentra obligada a rendir cuentas transparentes y cumplir metas e indicadores.

Por otra parte para asegurar el trabajo de la actividad académica a través de los Departamentos Académicos y Laboratorios, se destina una bolsa general que se distribuye mediante un modelo matemático que privilegia los resultados de la productividad académica e impulsa la calidad de la oferta educativa, alineando los requerimientos y tendencias de la educación superior, así como a la evaluación externa (COPAES, CONACyT, SEP, SHCP, entre otras), generando un modelo a través de los siguientes 4 grupos de indicadores:

**A. Dimensión con un valor relativo del 25%, considerando:**

1. PTC adscritos por departamento,
2. PTC activos en cada departamento,
3. Grupos atendidos por profesor,
4. Alumnos atendidos por profesor,
5. Laboratorios por departamento y
6. Alumnos tutorados por profesor.

**B. Eficacia con un valor relativo del 20%, considerando:**

1. Tesis de licenciatura por profesor y
2. Tesis de postgrado por profesor.

**C. Calidad Académica con un valor relativo del 30%, considerando:**

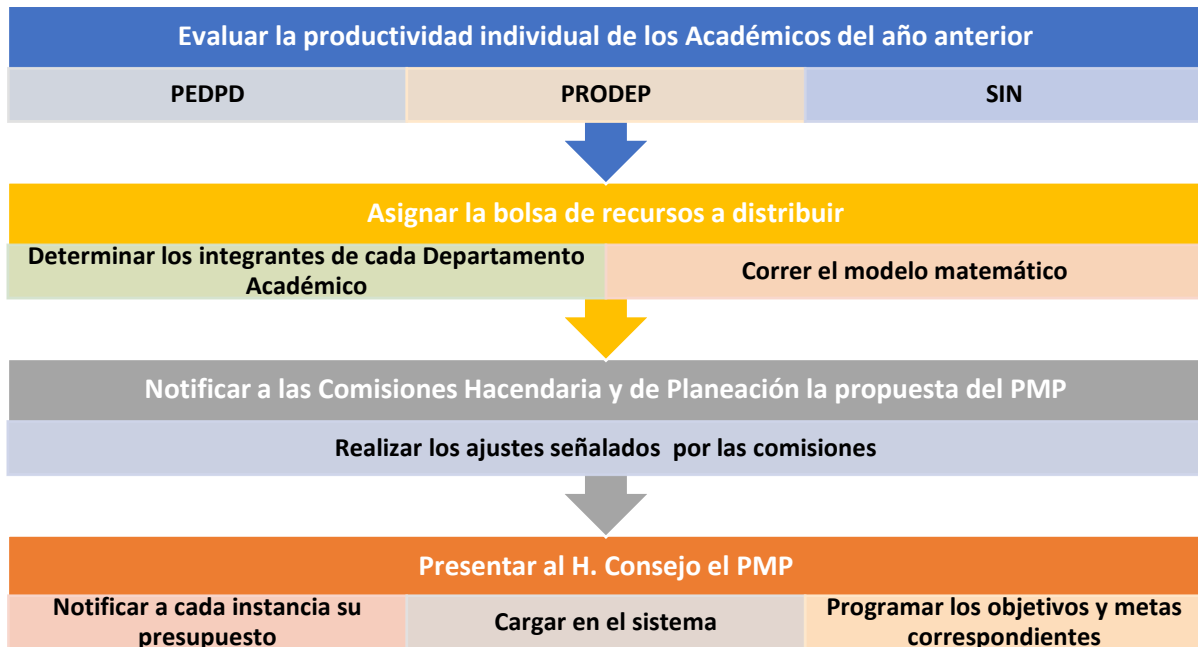
1. Nivel promedio de estudios de los profesores del departamento,
2. Profesores con perfil ProDEP,
3. Profesores con reconocimiento del Sistema Nacional de Investigadores (SIN),
4. Programas acreditados de licenciatura en el departamento,
5. Programas de posgrado en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC),

6. Profesores participantes en Redes de colaboración Nacionales e Internacionales,
7. Cuerpos académicos en formación,
8. Cuerpos académicos en consolidación y
9. Cuerpos académicos consolidados.

**D. Investigación y Desarrollo con un valor relativo del 25% publicaciones en:**

1. Artículos,
2. Libros,
3. Memorias,
4. Documentos institucionales,
5. Participación en congresos,
6. Paquetes tecnológicos,
7. Proyectos especiales y
8. Aportación por proyectos especiales

La Universidad, realizar anualmente una evaluación integral denominada Programa al Desempeño del Personal Docente (PEDPD-2017) 183 lo que sirve de insumo para realizar los cálculos de los indicadores antes señalados y sistemáticamente analizar los resultados y posteriormente asignar el presupuesto correspondiente. La finalidad de la evaluación es fortalecer a los Cuerpos Académicos (CA), orientado a los académicos que desarrollan actividades de docencia, investigación, desarrollo, tutorías, gestión académica y participación en cuerpos colegiados. Este programa, se instituye para hacer un reconocimiento al Personal Académico que por su vocación y entrega contribuyen en los procesos de calidad educativa y en la formación de profesionales que fortalecen el prestigio de la Universidad.



**Figura 1.** Proceso de asignación de recursos a Departamentos Académicos en base a indicadores de calidad del personal docente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del Sistema de Indicadores han permitido la toma de decisiones en tiempo y forma, así mismo la asignación de recursos de forma sistémica y en base a la productividad de los profesores de los Departamentos Académicos (Figura 2).

Indicadores																									
0.25						0.20		0.30										0.25							
Dimensiones						Eficacia		Calidad académica										Investigación & vinculación.							
1. Maestro	2. No. Grupos o Materias	3. No. alumnos atendidos	4. No. Laboratorios	5. Alumnos /PTC	6. # Alumnos tutorados	7. Tesis licenciatura	8. Tesis posgrado	9. Nivel Promedio de Estudios	10. PRODEP	11. SNI	12. Programas acreditados	13. Programas acreditados	14. Grupos interdisciplinarios	15. Redes	16. Cuerpos Académicos en	17. Cuerpos Académicos en	18. Cuerpos Académicos	19. Artículos	20. Libros	21. Memorias	22. Documentos Institucionales	23. Participación en Congresos	24. Paquetes Tecnológicos	25. Protección de Propiedad	26. Aportación x Proyectos
0.10	0.15	0.20	0.30	0.15	0.10	0.50	0.50	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00	0.05	0.03	0.07	0.15	0.25	0.10	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.25
Ponderación																									

**Figura 2.** Modelo de distribución

El modelo tiene en función dos años, lo que proporciona una aceptada certidumbre de la asignación de recursos para dar cumplimiento a los objetivos y metas encaminados al aporte correspondiente al PDI 2013-2018.

El modelo contiene 26 indicadores de productividad académica, en sus grupos de dimensión, eficacia, calidad académica e investigación y vinculación de los 31 departamentos académicos de la universidad, generando en el 2017 los 454 profesores activos de los 471 en total, mismos que atendiendo 2830 cursos, 120 laboratorios, 3669 alumnos tutorados, generando 882 tesis de licenciatura, 243 de posgrado, 121 PTC tienen reconocimiento del perfil PRODEP, 51 son SNI, con 12 de 22 programas de licenciatura acreditados, 13 programas de posgrado en el PNPC, participando en 213 grupos interdisciplinarios en 11 redes de colaboración, 55 profesores en CA en formación, 34 en consolidación y 21 consolidados. Con una producción de 587 artículos publicados, 16 libros generados, 81 publicaciones en memorias de 313 congresos nacionales e internacionales, 688 documentos institucionales, generando 31 paquetes tecnológicos y 240 proyectos especiales que generan recursos propios.



Lo anterior nos permite contar con la información sistematizada, en todo momento para la toma de decisiones desde la autoridad superior (Rector), funcionarios administrativos, jefes de departamento, hasta el profesor y para algunos indicadores hasta la comunidad estudiantil, aunado a que una vez analizada la información generada se presenta y aprueba la asignación del recurso para la operación anual correspondiente, seguida de la planeación de objetivos y metas en cada caso, a los cuales se les da seguimiento trimestralmente.

### CONCLUSIONES

El modelo resulta útil, sin embargo como todo sistema de calidad es perfectible y se requiere realizar ajustes derivados de las opiniones de los usuarios, es necesario socializar el modelo para que los profesores conozcan y orienten sus actividades para incrementar la productividad de su departamento, dar cumplimiento a los objetivos y metas programados para contribuir en todo momento a las metas e indicadores del Plan de Desarrollo de nuestro país, al cual entregamos informes trimestrales a la SEP y a la SHCP.

También es necesario realizar ajustes al modelo, así como incrementar indicadores que aporten al aseguramiento de la calidad de la educación en nuestra universidad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beck, Ulrich. (1999) ¿Qué es la globalización? Falacias del globalismo, respuestas a la globalización. Barcelona: Piados.
2. PND 2013-2018 Gobierno de la República. <http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>
3. Programa Sectorial de Educación 2013.2018, Secretaría de Educación Pública. [http://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/4479/4/images/PROGRAMA\\_SECTORIAL\\_DE\\_EDUCACION\\_2013\\_2018\\_WEB.pdf](http://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/4479/4/images/PROGRAMA_SECTORIAL_DE_EDUCACION_2013_2018_WEB.pdf)
4. Plan de Desarrollo UAAAN 2013-2018, Saltillo Coahuila 2013. <http://uaaan.mx/v3/attachments/article/1304/PDI-UAAAN-2013-2018.pdf>
5. Programa de Metas y Presupuestos 2017, (2016) UAAAN, Saltillo Coahuila. <http://uaaan.mx/v3/attachments/article/1540/PMP2017aprob-CU.pdf>

6. Modelo de evaluación PEDPD UAAAN (2015)  
[http://pedpd.uaaan.mx/archivos/Modelo\\_2015.pdf](http://pedpd.uaaan.mx/archivos/Modelo_2015.pdf)
7. Salas, R. (2000), La calidad en el desarrollo profesional: avances y desafíos. Versión impresa ISSN 0864-2141. La Habana. Cuba.

## ENERGÍA, BIOMASA Y MANEJO DE RESIDUOS

## **ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO UTILIZANDO PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO) RECICLADO**

**Martín Hidalgo Reyes<sup>1</sup>; Marcelino Benito Vásquez López<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, C.P. 56230, México. <sup>2</sup>Estudiante de Maestría en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. Autor para correspondencia: [valm\\_lopez@hotmail.com](mailto:valm_lopez@hotmail.com), Tel: 55 62 03 00 36.

### **RESUMEN**

El PET (Tereftalato de Polietileno) es un polímero plástico creado en los años 40's buscando una fibra para reemplazar al algodón. Posteriormente se desarrollaron envases de este material plástico y desde entonces han sido tirados de forma irresponsable en canales de riego, ríos, arroyos, barrancas, campo abierto, en algunos casos son quemados o enterrados, generando un problema de contaminación ambiental, ya que toma aproximadamente entre 100 y 1000 años para degradarse. La finalidad del proyecto es ofrecer alternativas para el reciclaje de este material a nivel nacional, evitando su acumulación en los rellenos sanitarios o en cualquier otro lugar, brindando opciones para la reutilización de los envases plásticos de PET. El objetivo principal es elaborar un nuevo producto, un adoquín rectangular utilizando material plástico residual. Es por ello que se elaboraron adoquines a base de mezcla de cemento, arena negra, arena fina, agua y PET triturado. Se fabricaron moldes con solera de acero inoxidable 1018 con medidas: ancho 6.35 cm, alto 18 cm, largo 38 cm, el molde se dividió en 5 partes. Para la elaboración del adoquín se realizaron proporciones, primero nueve muestras iniciales considerando el porcentaje de material: M1 90% mezcla y 10 % de PET, hasta M9 10% mezcla y 90% de PET. Finalmente se obtuvieron los especímenes a base de PET comparados con muestras testigos, los avances obtenidos hasta el momento indican que el PET triturado es un material que cumple con las propiedades requeridas para el área de construcción por su gran resistencia y dureza.

**Palabras clave:** Mezcla, plástico, reutilización, material compuesto.

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos tienen beneficios sustanciales en términos de su bajo peso, durabilidad y menor coste en comparación con muchos otros tipos de material (Andrady y Neal, 2009; Thompson *et al*, 2009), la producción de polímeros en todo el mundo se estima en 260 millones de toneladas métricas por año en 2007 (Plástico Europe, 2008b). La contaminación del medio ambiente y los problemas asociados a la vida silvestre son resultado visible de los desechos presentes, especialmente la acumulación de plástico (Gregory 2009). Aproximadamente el 50 % de los plásticos son usados y desechados después de haber sido utilizados una sola vez, tales como envases, películas agrícolas, artículos de consumo desechable, entre 20% y el 25% para infraestructura de largo plazo como son tubos, revestimientos de cable y materiales estructurales, y el resto para aplicaciones de consumo duradera, tal como bienes electrónicos, mobiliario, vehículos (Plastic Europe, 2008b).

El PET (Tereftalato de Polietileno) es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección- soplado, Ureta (1996). El reciclaje de plásticos consta de cuatro fases de actividad: recolección, separación, transformación- fabricación y comercialización (Shent *et al*, 1999). Ahora esto forma parte de un gran problema ambiental ya que le toma aproximadamente de 100 a 1000 años para degradarse (Vidal, 2008).

En México se generan 37.5 millones de toneladas de basura al año, 60% llegan a rellenos sanitarios, mientras el resto se va a tiraderos a cielo abierto y existen 7.5 millones de toneladas de desechos cuyo destino se desconoce (Enciso, 2013). Cada persona genera por día 852 gramos en promedio, siendo de 400 g en zonas rurales y elevándose hasta 1.5 Kg en zonas metropolitanas (Enciso, 2013).

A su vez, el origen del adoquín se remonta hace 25 siglos. “Se denomina adoquín a la unidad prefabricada de hormigón que se usa como material de pavimentación de superficies” (Mora, 2004). Proviene del árabe (addukkân, "piedra cuadrada"). Es un elemento macizo prefabricado en concreto, que se usa para conformar la capa de rodadura de pavimentos,

(Serrano 2009). Los adoquines fueron muy usados por los Romanos, son elementos sólidos que tienen la habilidad de transferir cargas y esfuerzos lateralmente por la acción de la brecha entre las unidades. La importancia de utilizar PET reciclado en la fabricación de adoquín radica en la disminución de este material en el ambiente, generando fuentes de empleo e incentivar a la recolección de envases, por todo el país.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La fabricación de adoquines se desarrolló en el área de procesos de manufactura del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

### **Realización del molde**

Se fabricó un molde de una sola pieza: dos placas de solera Cold roll, la primera placa de acero inoxidable 1018 con espesor de 0.635 cm, ancho 6.35 cm y largo 80 cm, con un peso total de 2.54 kg, la segunda placa también de acero inoxidable 1018 con espesor de 0.635, ancho 6.35 cm y largo 40 cm, con un peso total de 1.28 kg. Las medidas del molde son: ancho 6.35 cm, alto 18 cm, largo 38 cm (Figura 1).



**Figura 1. Molde para realización de adoquín, (Una pieza).**

El molde se dividió en cinco secciones con separación de 7.6 cm para obtener varios especímenes, para ello, una placa fue cortada en secciones de 18 cm para colocarse dentro del molde inicial, después se realizó la soldadura de las piezas (figura 2).



**Figura 2. Molde inicial con cinco divisiones (Sub-moldes).**

Se preparó una base de madera (30 x 50 cm) para mantener limpia la mezcla de cualquier material distinto.

### **Cálculo de volumen de molde**

Se determinó el volumen del molde con la finalidad de tener exactitud en la cantidad de materiales a ser introducidos. En el cuadro 1 se muestra el volumen de cada molde.

**Cuadro 1. Volumen de cada molde.**

Bloques	Volumen, $cm^3$
1 y 6	841.12
2 y 7	784.28
3 y 8	772.92
4 y 9	784.28
5	807.02

### **Procedimiento experimental**

Los materiales incluidos en la mezcla fueron: cemento gris, arena negra, arena fina, PET y una porción de agua. Las proporciones se muestran en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Porcentaje de mezcla en las primeras pruebas.**

Muestras	Mezcla cemento (% en proporción de volumen)	PET (% en proporción de volumen)
M1	90	10
M2	80	20
M3	70	30
M4	60	40
M5	50	50
M6	40	60
M7	30	70
M8	20	80
M9	10	90

El PET reciclado se compró a una empresa recicladora de Guadalajara, Jalisco. Se obtuvo en tamaño de 1cm<sup>2</sup> promedios (Figura 3).



**Figura 3. PET triturado en escamas de 1 cm<sup>2</sup> en promedio.**



Para el primer caso: cemento gris 400 g, arena negra 2931 g, arena fina 1561 g, agua 350 ml, (Figura 4).



**Figura 4. Mezcla: cemento gris, arena negra, arena fina, proporción de agua.**

Una vez terminada la mezcla de los materiales, se tomó parte y se agregó la muestra 1 (17 gr) para su respectiva mezcla, y así sucesivamente con las 4 muestras restantes, cada una con su proporción de PET, se compactó en el molde, (Figura 5).



**Figura 5. Compactación de mezcla de materiales dentro del molde a base de PET-M1.**

Después, se procedió de igual forma para las demás muestras restantes del M6-M9, una vez terminados todos los adoquines se colocaron en una base de concreto para continuar el fraguado.

### Fabricación de testigos

La fabricación de los testigos no incluyó PET, se pesó el material: cemento 500 g, arena negra 1795 g, arena fina 1702 g, agua 350 ml, se realizó la mezcla y posteriormente se colocó en los moldes, (Figura 6).



**Figura 6. Elaboración de testigos, adoquines sin PET.**

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los adoquines fabricados con PET, requirieron de 48 horas de secado al sol (Figura 7). Las muestras M1, M2 no se tomaron en cuenta debido al poco porcentaje de PET que se utilizó. Así mismo las muestras M8 Y M9 no se tomaron en cuenta debido a la poca consistencia de los materiales con el PET, el exceso el PET dificultó la compactación y el fraguado.



**Figura 7. Adoquines fabricados con un porcentaje de PET.**

En el cuadro 3 se muestran los resultados del peso final del adoquín con PET.

**Cuadro 3. Resultado con respecto al peso, con PET.**

Muestras	Mezcla cemento (g en proporción de peso)	PET (g en proporción de peso)	Peso final (g en proporción de peso)
M1	1051.4	17	943
M2	1034.4	34	787
M3	1017.4	51	681
M4	1000.4	68	718
M5	983.4	85	660
M6	966.4	102	729
M7	949.4	119	629
M8	932.4	136	680
M9	915.4	153	502

En el cuadro 4 se muestran los datos de los materiales usados en diferentes proporciones con respecto a la masa.

**Cuadro 4. Proporciones de material en cada muestra realizada.**

Muestra	PET (g)	Cemento Gris (g)	Arena Negra (g)	Arena Fina (g)	Agua (ml)
M3	51	100	560.7	286.7	70
M4	68	100	552.2	278.2	70
M5	85	100	543.7	269.7	70
M6	102	100	535.2	261.2	70
M7	119	100	526.7	252.7	70

En la construcción de moldes del experimento, la soldadura tiene un papel muy importante en la rugosidad del material y hace difícil la mezcla, se adhiere materiales plásticos y agregados, en el sentido de la compactación afecta, pues mientras más PET en cada bloque, no existe adherencia del cemento, mientras poco PET y mayor mezcla ocurre que si es compacto, pero no se hace buen uso en la reducción de la contaminación. Las muestras realizadas M5, M6, son las más factibles en cuando al uso de PET y mezcla de dichos materiales, con respecto al peso del producto final, y a la calidad en cuando a la construcción de banquetas, que se requiere de cargas mayores, que sean resistentes y tengan una buena absorción de agua, esto da inicio a un proyecto de alto alcance, pues se tiene un futuro en el cual el PET, llegue a sustituir el asfalto en materiales de pavimentación en todo el mundo.

### CONCLUSIONES

Se obtuvieron los primeros especímenes de material compuesto, los cuales incluyen un porcentaje de PET en la mezcla. Esta propuesta significa dar un uso a los desechos plásticos PET, pasando por un proceso secundario de trituración, que no implica un gran costo. La elaboración de adoquín se realizó utilizando plástico reciclado y se observa que cada muestra presenta características diferentes, según el porcentaje de PET involucrado. Se estableció un diseño experimental para poder determinar la mejor proporción de material residual que

garantice un beneficio en el producto final. Los avances obtenidos hasta el momento muestran que el PET triturado es un material con propiedades requeridas para el área de construcción.

### LITERATURA CITADA

- Andrady, A. L. & Neal, M. A. (2009) .Applications and societal benefits of plastics. Phil Trans. R. Soc. B 364, 1977- 1984.
- Enciso, A. L.; (2013). Relleno sanitarios en México. La jornada Editores. México DF.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings - entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. Phil. Trans. R. Soc. B 364, 2013-2025.
- Mora, J. L.; (2004). Como se construye na vivienda, Editorial Segunda Triada, p.29.
- PlasticsEurope (2008), the compelling facts about Plastics: an analysis of plastics production, demand and recovery in Europe. Brussels, Belgium.
- Serrano. M.F., F. J. (2009). Aprovechamiento de los escombros para la producción de concreto. II Simposio I Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla: REDISA.
- Shent, H., Pugh, R.J. and Forssberg, E. (1999). A review of plastic waste recycling and the floatation of plastics. Resources, Conservation and Recycling, 25, 85-109.
- Ureta, E.; (1996). Polímeros Estructura, propiedades y Aplicaciones. Limusa Noriega Editores, México.
- Vidal, C. (2008). Biodegradabilidad y contaminación: ¿Cuánto tarda en degradarse...? En línea: <http://www.ecoclimatico.com/archives/biodegradabilidad-y-contaminacion-%C2%BFcuanto-tarda-en-degradarse-303>.

## PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE SEMILLAS DE *ARGEMONE PLEIACANTHA GREENE*

Biodiesel production from *Argemone pleiacantha* Greene seeds

<sup>1</sup>Ricardo Trejo-Calzada, <sup>1</sup>Elena del Carmen Villarreal Ornelas, <sup>2</sup>Miguel Agustín Velásquez Valle, <sup>3</sup>Ignacio Sánchez Cohen, <sup>1</sup>Mali Nay Buendía Tamariz

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio- Chihuahua km 40, Bermejillo, Durango, México. Tel. 52 8767760160

<sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Agua Suelo Planta Atmósfera, INIFAP. Km. 6.5 Margen derecha Canal de Sacramento C.P. 35150 Gómez Palacio, Durango. México.

<sup>3</sup>Campo Experimental Saltillo, INIFAP. Carretera Saltillo - Zacatecas km 342+119 #9515 Hacienda de Buena Vista C.P. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

\* Autor de correspondencia: [rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx](mailto:rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx)

### RESUMEN

La producción de biodiesel como alternativa a los combustibles fósiles enfrenta la dificultad de contar con materia prima suficiente y que no compita con la producción de alimentos. *Argemone* spp. es un género de plantas no comestibles que se desarrollan en suelos pobres y condiciones de sequía. Estas plantas son consideradas como malezas, pero estudios recientes revelan que sus semillas tienen un alto contenido de aceite. Sin embargo, aún son escasos los trabajos sobre el rendimiento y calidad de biodiesel que puede producirse a partir de ese aceite. El objetivo de este estudio fue identificar tratamientos para obtener los mayores rendimientos de biodiesel a partir de semillas de *Argemone pleiacantha* Greene. se estableció un experimento con diseño de factorial completo 2x2x2 y tres repeticiones. Los factores de variación fueron la relación metanol/aceite (6:1 y 6.5:1 mol:mol), tipo de catalizador (KOH y NaOH) y concentración de catalizador (0.5 y 0.75%). Los tres factores variables (catalizadores, concentración y relación molar metanol/aceite) utilizados en el experimento tuvieron efectos significativos en el rendimiento de biodiesel y hubo una interacción significativa entre estas variables ( $p < 0.05$ ). El tratamiento con catalizador KOH al 0.5% y una relación molar metanol/aceite de 6.5 produjo un rendimiento de biodiesel significativamente mayor ( $p < 0.05$ ).

**Palabras clave:** Biocombustibles, transesterificación, zonas áridas, recursos naturales.

## SUMMARY

Biodiesel production as alternative fuel faces the challenge of having enough raw material that is not consumed as a food. *Argemone* is a kind of non-edible plants that grow in poor soils and dry environments. These plants are classified as weeds, however recent studies show that their seeds have a high oil content. Nevertheless, there are only a few studies about the yield and quality of biodiesel produced from *A. pleiacantha* seeds. The aim of this research was to identify the best treatments to obtain the greater yield of biodiesel. An experiment was established under a complete factorial experimental design 2x2x2 with three replications. The variable factors were methanol/oil ratio (6:1 and 6:5 mol:mol), catalyst (KOH and NaOH) and catalyst concentration (0.5 and 0.75%). All three variable factors (catalyst, concentration of catalyst and methanol/oil molar ratio) had significant effects ( $p < 0.05$ ) on the yield of biodiesel and there was a significant interaction among these variables ( $p < 0.05$ ). The treatment with 0.5 % KOH and methanol/oil molar ratio of 6.5 produced a significant higher yield of biodiesel ( $p < 0.05$ ).

**Key words:** Biofuels transesterification, arid lands, natural resources

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, con el fin de limitar el calentamiento global y el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles se ha convertido en prioridad para la investigación sobre fuentes alternativas de energía. Entre estas alternativas se encuentran los biocombustibles para motores de combustión interna. Durante los últimos años, la investigación sobre biocombustibles se ha dirigido principalmente a explorar combustibles a partir de aceites de plantas: es decir, ésteres metílicos de ácidos grasos de aceites de semillas (Pinzi *et al.*, 2009).

Los aceites de semillas constituyen el 70% de la producción mundial de aceites y son una alternativa que da respuesta al agotamiento de los combustibles fósiles y a los efectos contaminantes del medio ambiente (Lafarge *et al.*, 2012). La relativa sencillez y versatilidad de los procesos físicos (fraccionamiento) o químicos (hidrogenación o transesterificación),

usados por separado o en combinación permiten modificar las propiedades de los aceites vegetales para hacerlos particularmente indicados para ser transformados en biodiesel (BD) (Fernández *et al.*, 2012).

Los aceites grasos comestibles derivados de colza, soja, palma, coco y girasol, entre otros, han sido utilizados ampliamente como materia prima para producir biodiesel de primera generación (Bergsma *et al.*, 2006). Sin embargo, la producción de BD a partir de aceites comestibles es controversial, pues algunas organizaciones no gubernamentales y movimientos sociales señalan que la fabricación de biocombustibles a partir de materias primas comestibles es la causa principal del aumento en los precios de los alimentos (Pinzi *et al.*, 2009).

Por otro lado, algunos cultivos oleaginosos no compiten con los alimentos, por ejemplo, *Ricinus communis*, *Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata* entre otros aceites de cultivos no comestibles, los cuales son llamados productores de BD de segunda generación (Moser & Vaughn, 2010). Es imperante explorar otras especies vegetales que reúnan no compitan con la producción de alimentos y que preferentemente tengan características de adaptación a condiciones adversas, entre ellas el déficit hídrico.

En este contexto, *Argemone* spp. es un género de plantas no comestibles que han sido consideradas como malezas y no compite con cultivos convencionales. A pesar de que este género no ha sido ampliamente estudiado, se sabe que el aceite obtenido a partir de sus semillas presenta un alto contenido de ácidos grasos insaturados (Reveles-Saucedo *et al.*, 2010). A pesar de que el contenido de aceite de semillas de *A. pleiakantha* es relativamente grande, aún no hay suficientes estudios sobre las características del aceite y el rendimiento de biodiesel al emplearlo como materia prima. El objetivo de este estudio fue identificar tratamientos para obtener los mayores rendimientos de biodiesel a partir de semillas de *A. pleiakantha* Greene

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó cabo en los laboratorios Agua-Suelo-Planta y de Biotecnología de la Universidad Autónoma Chapingo – URUZA. Las semillas de *A. pleiakantha* se recolectaron



en el ejido San Isidro del municipio de Mapimí, Durango, México, con coordenadas 25° 51'23.5'' N y 103°45'56.7''.

Previo a la extracción de aceite, se determinó el porcentaje de humedad en las semillas por método gravimétrico. La extracción de aceite se llevó a cabo mediante el método soxhlet empleando hexano como disolvente en muestras de 10 g de semilla. El aceite obtenido fue empleado para determinar algunas de sus características físicas y químicas, entre ellas: perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases, viscosidad cinemática con un viscosímetro capilar, densidad con areómetro de vidrio, índice de acidez de acuerdo con la norma UNE EN 14104:2003, índice de saponificación de acuerdo con la norma NMX-F-174-SCFI-2014 e índice de peróxido con base en la norma NMX-F-154-SCFI-2010.

Para evaluar la producción de biodiesel a partir del aceite de semillas de *A. pleiakantha* se estableció un experimento con un diseño experimental factorial con tres repeticiones. Los factores y sus niveles fueron: catalizador (KOH y NaOH), concentración de catalizador (0.5 y 0.75%) y relación metanol aceite (6:1 y 6.5:1). La variable dependiente fue el rendimiento de biodiesel.

La reacción de transesterificación se llevó tomando como base la metodología presentada por Zuleta *et al.* (2008), con un tiempo de una hora de reacción a 65°C. La mezcla de biodiesel y glicerina obtenidos en el proceso de transesterificación se transfirió a un embudo de separación y se dejó en reposo durante 24 horas para así tener una buena separación de fases. El biodiesel obtenido se colocó en una parrilla de calentamiento para lograr la evaporación completa del metanol; posteriormente, tres lavados con agua destilada se realizaron a una temperatura de 45 °C, hasta observar que el agua del lavado tuviera fuera transparente. La determinación del rendimiento de biodiesel se calculó con el cociente de la cantidad de biodiesel puro obtenido entre la cantidad de aceite.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres factores variables: relación metanol/aceite (REA), concentración de catalizador (CC) y catalizador (C) afectaron significativamente ( $P < 0.05$ ) el rendimiento de biodiesel obtenido a partir de las semillas de *A. pleiakantha*. En el caso del factor catalizador, el mayor

rendimiento se obtuvo al emplear KOH. Asimismo, el empleo de una REA mayor y una concentración (CC) menor de catalizador provocó un incremento en el rendimiento de biodiesel. Estos efectos permiten identificar una interacción entre los factores variables, la cual fue significativa ( $P < 0.05$ ).

El tratamiento de KOH al 0.5% y una REA de 6.5 fue el que propició el mayor rendimiento (Cuadro 1). Zuleta *et al.* (2008) obtuvieron una transesterificación alta de aceite de palma con una concentración similar y un nivel de REA ligeramente menor al encontrado en este estudio. Meher *et al.* (2006) mencionan que al agregar más alcohol al proceso de transesterificación, la reacción se dirige hacia los productos.

Los resultados muestran también que los valores menores de rendimiento se obtienen en las mayores concentraciones de catalizador (Cuadro 1). Esto se debe a que al agregar más catalizador (KOH o NaOH) se favorece una reacción de saponificación en lugar de la transesterificación, añadiéndole también pérdidas en las etapas de separación y lavado del BD obtenido (Dorado *et al.*, 2004). Buendía-Tamariz *et al.* (2015) encontraron que el rendimiento de biodiesel a partir de aceite de pennycress (*Thalpi arvense*) alcanzó su máximo en concentraciones de KOH de 1% pero decreció al incrementar la concentración a 1.25% cuando se empleó una relación molar metanol:aceite de 6:1 y una temperatura de reacción de 60°C

En general, los valores de rendimiento de BD para cada tratamiento son menores que los correspondientes a otros estudios en los cuales se utilizaron aceites refinados en lugar de aceites crudos como por ejemplo el que presenta Murillo (2004) en cuyo caso el rendimiento de biodiesel es de 91.3 % a partir de aceite de palma. Asimismo, Cardeño *et al.* (2010) encontraron que al utilizar aceite de palma refinado hubo un mayor rendimiento en FAME comparándolo con aceite de palma crudo y de higuera. Buendía-Tamariz *et al.* (2015) obtuvieron rendimientos de 78% cuando emplearon aceite de carraspique del campo como materia prima. Esto se puede deber a que el índice de acidez en aceites crudos es muy alto y a la presencia de otras sustancias como carotenos, tocoferoles, tocotrienoles y gomas que no reaccionan con el alcohol, pero especialmente a los ácidos grasos libres y agua que consumen

parte del catalizador y forman jabones, lo que disminuye el rendimiento de la reacción (Vicente *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Rendimiento promedio de biodiesel a partir de aceite de semillas de *A. pleiakantha* con el empleo de dos relaciones molares metanol:aceite (REA), dos catalizadores (CAT) y dos concentraciones de catalizador (CC) en la reacción de transesterificación.

Tratamiento	REA mol/mol	CAT	CC %	Rendimiento promedio de biodiesel en porcentaje (S <sub>d</sub> )
1	6	KOH	0.5	67.919 (0.256)
2	6	KOH	0.75	58.631 (0.564)
3	6	NaOH	0.5	66.210 (0.357)
4	6	NaOH	0.75	58.588 (0.075)
5	6.5	KOH	0.5	73.105 (0.569)
6	6.5	KOH	0.75	68.011 (0.271)
7	6.5	NaOH	0.5	69.201 (0.594)
8	6.5	NaOH	0.75	68.138 (0.141)

S<sub>d</sub>= desviación estándar.

### CONCLUSIONES

El rendimiento de aceite de las semillas de *A. pleiakantha* fue relativamente grande, con un promedio de 39.8 %.

El tratamiento 5 con KOH al 0.05% y REA de 6.5 propició el rendimiento mayor. Al incrementar la REA en presencia de KOH como catalizador se incrementa el rendimiento de biodiesel. Sin embargo, el incremento es mayor al emplear una concentración de 0.75 % comparada con la de 0.5%.

## REFERENCIAS

- Bergsma, G.; Kampman, B.; Croezen, H.; Sevenster, M. (2006). Biofuels and their global influence on land availability for agriculture and nature; (CE--07832303/e). Netherlands.
- Buendía-Tamariz, M.N., Trejo-Calzada R., Abiola A., Pedroza-Sandoval A., Jacobo-Salcedo R. Reveles-Hernández M. (2015). Characterization of Biodiesel Produced from Chicken Fat and Pennycress Oil using Different Concentrations of Basic Catalysts. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 4(1):127-133
- Cardeño F., Rios L., Franco, A. (2010). Producción de Biodiesel de aceite crudo de palma mediante catálisis heterogénea. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.* 51:81-86.
- Dorado, M. P., Ballesteros, E., López F.J., Mittelbach, M. (2004). Optimization of alkali catalyzed transesterification of Brassica carinata oil for biodiesel production. *Energy & Fuels* 18(1):77-83.
- Fernández L.C., Montiel J., Millá, A., Badillo J. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai* 8:101-115.
- Meher L.C., Vidya Sagar D. & Naik S.N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification- a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 10(3):248-268.
- Moser, B.R., Vaughn, S.F. (2010). Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. *Bioresour. Technol.* 101:646-653.
- Murillo, J.E. (2004). Producción de Biodiesel a partir de aceite de palma. *Palmas* 25(4):31-42.

- Pinzi S., García L., López- Giménez F.J., Luque de Castro M.D., Dorado G. & Dorado M.P. (2009). The ideal Vegetable oil-based biodiesel Composition: A review of Social, Economical and Technical Implications. *Energy & Fuels* 23:2325-2341.
- Reveles-Saucedo, F., Rosales-Serna, R., Nava-Berúmen, C., Delgado-Lincón, E., Cuellar-Robles, E., Carrete-Carreón F. & Ríos-Saucedo, J. (2010). Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(1): 45-54.
- Vicente G., Martínez M. and Aracil J. (2004). Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalyts systems. *Bioresource Technology* 92(3):297-305.
- Zuleta E. C., Bonet J.D, Díaz L.C., Bastidas M. J. (2008). Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol, mediante el método de superficie de respuesta. Universidad Popular del Cesar, Valledupar. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del cesar 6(1):76-80.

## **FAMILIAS TÉRMICAS SOLARES PARA PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS Y AGROINDUSTRIALES EN LA REGIÓN HUETAR NORTE DE COSTA RICA: PROGRAMA LOCAL PILOTO**

### **Solar thermal equipments for the processing of agricultural and agroindustrial products in the Northern Huetar Region of Costa Rica: Local pilot program**

Tomás de Jesús Guzmán-Hernández<sup>1,\*</sup>; Javier Mauricio Obando Ulloa<sup>2</sup>; Freddy Araya Rodríguez<sup>3</sup>; Guillermo Castro Badilla<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ingeniería Agronómica. Tel. (506) 2401-3284. Correo electrónico: tjguzman@itcr.ac.cr. Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), sede regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

<sup>2</sup> Doctor en Tecnología Agraria y Alimentaria. Tel. (506) 2401-3214. Correo electrónico: jaobando@itcr.ac.cr. Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), sede regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias. Tel. (506) 2401-3240. Correo electrónico: faraya@itcr.ac.cr. Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), sede regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

<sup>4</sup> Ingeniero en Electrónica. Tel. (506) 2401-3040. Correo electrónico: gucastro@itcr.ac.cr. Escuela de Ingeniería Electrónica, sede regional San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

\* Autor correspondiente

### **RESUMEN**

En las operaciones de procesamiento y conservación de productos agropecuarios se aplica diferentes fuentes de energía, cuyo precio ha aumentado en los últimos años. Con el apoyo del programa local piloto de uso de energía solar en la región Huetar Norte, en conjunto con el Instituto Tecnológico de Costa Rica y el Sector Agropecuario, se ha evaluado la aplicación de diversos sistemas térmicos solares en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas para sustituir los métodos tradicionales de generación de energía por sistemas limpios para

mejorar las condiciones productivas y disminuir la huella de carbono local. Por esta razón, se ha diseñado y evaluado sistemas termosifónicos solares híbridos con un auxiliar eléctrico para la esterilización de equipos de ordeño, así como sistemas térmicos solares forzados híbridos con agua y gas LP para la esterilización y pasteurización de leche o para el secado de productos agrícolas con agua, aire caliente y gas LP y un secador solar pasivo para diferentes tipos de productos agrícolas. Los resultados de la evaluación de estos sistemas se obtuvieron por medio de la ubicación de termopares en lugares claves dentro de los sistemas y fueron almacenados en el espacio cibernético para facilitar su acceso mediante cualquier dispositivo electrónico. Estos resultados han permitido comprobar la disminución de los costos operativos relacionados con las facturas energéticas, el mejoramiento de la eficiencia de los diferentes procesos y la disminución de la huella de carbono de estas explotaciones, lo que representaría una ventaja competitiva en el mercado regional, nacional e internacional.

**Palabras claves:** Agroindustria, energía solar, sistemas solares térmicos, sistemas solares termosifónicos, secado solar

### ABSTRACT

Different energy sources are applied in the operations used for processing and preserving food and other agricultural products. The Technology Institute of Costa Rica and the agricultural sector of Costa Rica has supported the Local Pilot Program for the use of solar energy in the Northern Huetar Region of Costa Rica for the application and evaluation of different solar thermal systems in small and medium-sized agricultural units to replace the traditional methods of energy generation for clean production systems, reduce the local carbon footprint and improve production conditions. For this reason, in the Northern Huetar Region of Costa Rica, hybrid solar thermosiphonic systems with an auxiliary electric system have been designed and evaluated for the sterilization of milking equipment; hybrid solar thermal systems with water and LP gas for sterilization and pasteurization of milk; hybrid forced solar thermal systems with water, hot air and LP gas and a passive solar dryer for different types of agricultural products. The results of the evaluation of these systems were obtained by setting thermocouples in key places inside the systems and they were stored in

the cybernetic space to facilitate their access through any electronic device. These results has allowed verify the decrease in operating costs related to energy bills, the efficiency improvement of the different processes and the carbon footprint decreasing of these farms, which would represent a competitive advantage in the regional, national and international markets.

**Key words:** Agroindustry, solar drying, solar energy, thermal solar system, thermosyphonic solar systems

## INTRODUCCIÓN

La energía ha tenido un papel fundamental no solo para impulsar el desarrollo de los países, sino para generar el bienestar de la población en todos los niveles [1], por lo que el abastecimiento de energía cumple un rol importante en el funcionamiento de cualquier actividad productiva de un país.

En las últimas décadas, la base de generación de energía ha utilizado recursos no renovables, principalmente combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas); sin embargo, el encarecimiento de estos y sus derivados, los altos índices de emisiones contaminantes y los impactos ambientales irreversibles que han generado en el planeta, han conducido a los países a evaluar la llamada matriz energética (conjunto de energías utilizadas) con el propósito de encontrar alternativas menos contaminantes [2].

Esta necesidad del cambio en la matriz se formalizó con el uso de energías limpias, también llamadas *renovables*, para sustituir parte del consumo de energías fósiles y a la vez, impulsar el compromiso con el desarrollo sostenible por medio de cultivos energéticos o fuentes de energía renovables que hasta el momento no habían sido aprovechadas [1] [2] con el fin de minimizar los costos de producción, principalmente de aquellos que se reflejan en el pago de la factura energética [1].

En torno al tema, y de acuerdo con el VI Plan Nacional de Energía 2012-2030 del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), Costa Rica presenta un potencial teórico solar de 10.000 MW aunque su grado de utilización es mínimo [3]. Dado lo anterior, el MINAET insta a promover programas de ahorro energético en los macroconsumidores,



por lo que ha focalizado el estudio de las oportunidades y el potencial que tiene la región Huetar Norte con fuentes de energía alternativas.

Considerando que dicha zona es una de las mejores en cuanto a radiación solar en Costa Rica [4], el Grupo de Investigación en Sistemas Térmicos Solares para la Agricultura del Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE) de la Sede Regional San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (SSC-ITCR) ha decantado a favor de la tecnología solar como alternativa viable y efectiva, con el fin de generar la energía necesaria para las pequeñas empresas de la zona para beneficio propio y como distintivo comercial, la cual represente una ventaja competitiva en el mercado regional, nacional e internacional.

Partiendo de lo mencionado, el objetivo de este trabajo consiste en evaluar la aplicación de diversos sistemas térmicos solares en pequeñas y medianas explotaciones agrícolas para sustituir los métodos tradicionales de generación de energía por sistemas limpios para mejorar las condiciones productivas y disminuir la huella de carbono local.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Considerando el informe emitido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el que se afirma que la ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) [5] –por encima del transporte- y partiendo de que en el cantón de San Carlos (Alajuela, Costa Rica) se encuentra el 55% de los asociados de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. (850 productores en total), quienes generan más del 50% de la producción nacional (0,6 millones de kilogramos de leche), el grupo de investigación se dio a la tarea de aplicar tecnologías que minimicen el impacto generado por el consumo eléctrico de las plantas agroindustriales en las que se desarrolla los procesos productivos del sector ganadero y lechero que inciden negativamente en la huella de carbono local.

Para lograrlo, se desarrolló un sistema térmico solar para para el calentamiento de agua para la desinfección de los equipos de ordeño y la pasteurización de leche, que cuenta con paneles solares térmicos, conectados a un tanque acumulador con capacidad para 302,40 l de agua, que posee un sistema eléctrico auxiliar que se activa en caso de que la radiación solar no sea

suficiente para que el agua alcance la temperatura requerida (70 °C). El tanque también tiene tres previsiones internas para la conexión de termopares para registrar los datos de captación de energía y el uso del agua, tal como lo describe [6]. Estos sistemas han sido instalados y evaluados, tanto en la lechería de la SSC-ITCR como en la lechería de la Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI) y en la planta procesadora de las Asociaciones de Productores Lácteos LLAFRAK y San Bosco [7].

Gracias a la capacitación que se impartió a los productores afiliados a la Asociación de Productores Agroambientalistas de Cacao de Guatuso (ASOPAC) sobre el uso de estos sistemas en explotaciones agrícolas, surgió la idea de aplicar esta tecnología al secado de productos agrícolas, de modo que se los productos tengan mayor eficiencia y calidad; por tanto, se diseñó dos sistemas de secado solar, uno de ellos híbrido con circulación forzada de aire y otro con circulación pasiva [8].

Una vez instalados todos los sistemas, se procedió al registro de la masa, tanto de agua fría y agua caliente como de aire frío y caliente, cálculo del diferencial (ahorro) de electricidad del sistema en función del uso de los sistemas solares, balance energético de los sistemas en función de la zona, determinación de la eficiencia energética y la disminución de los costos de producción, cálculo de la disminución de la huella de carbono por medio del producto del valor de los kWh anuales ahorrados y medidos por el sistema y el valor medio de Kg de CO<sub>2</sub> emitidos en la generación eléctrica, según se describe en [2] y [6].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con [9], la región Huetar Norte es una de las dos mejores zonas con radiación solar en Costa Rica, la cual presenta una producción máxima promedio de 0,25 kWh, específicamente cuando el sol está en el cenit (entre las 11 y 12 h; figura 1).

Con base en estos resultados, se ha determinado que en esta región es posible generar una producción diaria promedio de energía solar de 7 kWh y una producción mensual promedio de 187 kWh, lo cual ha permitido determinar que los sistemas térmicos solares instalados en LLAFRAK y San Bosco aportaron la mayor cantidad de energía necesaria para las operaciones que se realizan en la planta procesadora (97,75 y 87,81%, respectivamente), mientras que aquellos instalados en la lechería del ITCR-SSC y la ETAI tan solo aportaron

73,51% y 52,84% de la energía necesaria, respectivamente, para alcanzar la temperatura del agua requerida para las operaciones de limpieza, sanitización y pasteurización (Cuadro 1), lo que a su vez ha reducido la emisión de gases de efecto invernadero entre 85% y 99% en las unidades productivas donde se instaló estos sistemas (Cuadro 2).

Con respecto de los sistemas térmicos solares de secado para productos agrícolas, se comparó el proceso de secado de cacao y frijol tanto en el sistema térmico solar con circulación de aire forzado como en el pasivo: los resultados permitieron determinar que en el sistema con circulación forzada fue más eficiente para alcanzar un porcentaje de humedad similar, puesto que presentó un tiempo de proceso más corto (48 y 40 h, respectivamente) en comparación con el sistema con circulación pasiva (Cuadro 3).

Además, otros productos agrícolas sometidos a secado con circulación forzada de aire alcanzaron los porcentajes de humedad permitidos por las normas internacionales [10] en aprox. 40 - 56 h (Cuadro 4).

## CONCLUSIONES

Este estudio ha permitido comprobar que la energía electromagnética emanada del sol es ilimitada y está disponible en promedio de 200 - 500 W/m<sup>2</sup> en la mayor parte del mundo, por lo que su uso es una opción viable, a través de sistemas combinados para las operaciones agrícolas y la conservación de los productos agropecuarios. Además, el uso de este tipo de energía contribuye no solo a la mitigación de los gases de efecto invernadero para reducir el efecto del cambio climático a nivel global, sino como un distintivo comercial que represente una ventaja competitiva para los productores de la región Huetar Norte en los mercados regionales, nacionales e internacionales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica y a la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica por el apoyo económico a los proyectos VIE 1710- 024, VIE 1701-180, VIE 1710-012 y F 0917, respectivamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. Briceño, *et al.* Potencial de generación de energía de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. *Rev. Palmas*, vol. 36, no. 3, pp. 43-53, Jul.- Sept. 2015.
- [2] T.J. Guzmán-Hernández, *et al.* Evaluación de sistemas térmicos y fotovoltaicos solares en unidades de producción agropecuaria, región Huetar Norte, Costa Rica. *Agron. Mesoam.*, vol. 28, no. 3, pp. 535-548, Sept.- Dic. 2017.
- [3] Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2011). VI Plan Nacional de energía 2012-2013. Disponible en [http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/VI\\_Plan\\_Nacional\\_de\\_Energia\\_2012-2030.pdf](http://www.dse.go.cr/es/03Publicaciones/01PoliticaEnerg/VI_Plan_Nacional_de_Energia_2012-2030.pdf).
- [4] Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2010). Costa Rica: matriz eléctrica. Disponible en [https://www.kolbi.cr/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abde-a1f06e14da0e/matriz\\_folleto\\_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=18SK4gG](https://www.kolbi.cr/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abde-a1f06e14da0e/matriz_folleto_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=18SK4gG).
- [5] Matthews, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. Disponible en <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>.
- [6] T. Guzmán-Hernández, *et al.* Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Tecnol. Marcha. Encuentro de Investigación y Extensión* 2016, pp. 46-56. 2016.
- [7] T. Guzmán, *et al.* Resultados de la implementación de tecnologías solares en sistemas de producción agropecuaria en Costa Rica. *Ventana Lechera*, vol. 35, pp. 4-17, Ene. 2017.
- [8] T.J. Guzmán-Hernández, *et al.* Aplicación de tecnologías solares térmicas híbridas, para la deshidratación y secado de productos agrícolas en la región Huetar Norte de Costa Rica. *Ventana* vol. 11, no. 1, pp. 21-25. 2017.
- [9] R. Portilla Pastor, *et al.* Determinación de potenciales de energía solar para generación eléctrica en Costa Rica. En: *Memorias Congreso Internacional Clima, Agua y Energía, pilares para el desarrollo sostenible*. Universidad Nacional Campus Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. pp. 231-244. 2014.

[10] Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Cuadro de composición de alimentos de Centroamérica. 2a edición. 128 pp. 2012.

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE RÁPIDO CRECIMIENTO DE COSTA RICA EN UN PROCESO DE GASIFICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### Autores

Nombre y apellidos	Filiación	Correo	Número	País
<b>Ing. Marco Chaves Flores</b>	Universidad de Costa Rica	marco.chavesflores@ucr.ac.cr	+(506) 83159048	Costa Rica
<b>Ing. Cindy Torres Quirós, MSc.</b>	Universidad de Costa Rica	cindy.torres@ucr.ac.cr	+(506) 8840 5384	Costa Rica
<b>Ing. Roger Moya Roque, PhD.</b>	Tecnológico de Costa Rica	r.moya@ucr.ac.cr	+(506) 8641 5909	Costa Rica
<b>Ing. Luis Urvina Savelli</b>	Universidad de Costa Rica	luis.urvina@ucr.ac.cr	+(506) 8840 7591	Costa Rica

### RESUMEN

Utilizando una planta piloto de un proceso de gasificación con un reactor de lecho descendente con la capacidad de producción de energía eléctrica ubicada en el Tecnológico de Costa Rica, Cartago, se evaluó el desempeño del proceso para cinco especies de rápido crecimiento Costa Rica: teca, acacia, melina, ciprés y eucalipto. Para cuantificar el desempeño se calculó la Eficiencia del Gas Frío, la Eficiencia Térmica, la Eficiencia del Motor, la Conversión de Carbono, el Rendimiento Eléctrico y el Rendimiento de Producción de Syngas para cada una de las especies forestales mediante la realización de tres corridas

experimentales de cuatro horas de operación por cada especie forestal. Estos valores se obtuvieron luego de realizar mediciones continuas de los flujos de entrada y salida del sistema, además de las temperaturas y presiones y se recopilieron todas las variables eléctricas durante la etapa de generación. Los resultados obtenidos indican un gran potencial de aprovechamiento de los combustibles forestales en forma de astillas o chips de madera para la generación de energía eléctrica a partir de un proceso de gasificación, independientemente de la especie forestal, ya que se alcanzaron valores de eficiencias y rendimientos altos tanto en el proceso de descomposición termoquímica del combustible sólido en syngas como de manera global de aprovechamiento de energía contenida en la biomasa para producción de electricidad. La mayor diferencia en el comportamiento sucedió durante el proceso de transporte de las astillas de eucalipto, tanto en el sistema de alimentación como en el de reacción, lo que provocó un menor desempeño de esta especie forestal en comparación al resto estudiadas.

## INTRODUCCIÓN

La biomasa es la principal fuente de energía renovable en todo el mundo, las estimaciones varían del 44 % al 65 %, y la Agencia Internacional de Energía prevé que la capacidad de generación eléctrica global de la biomasa aumentará diez veces, de 50 GW (Gigawatts) en 2009 a 560GW en 2050 (Forestry & Natural Resources Development, 2014). Según el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2016-2035 del ICE, la biomasa como fuente de generación tiene un potencial identificado de 445 MW de los cuales, en instalados, solo hay 9 % (45 MW). El sector industrial usa intensivamente los combustibles fósiles, que cubren el 33% de sus necesidades, para la generación de calor y vapor según el documento. El 50% del consumo de ese sector proviene de biomasa (residuos vegetales y leña), utilizado en su mayor proporción por la industria de producción de alimentos (Lara et al., 2017).

Este trabajo aportará nueva información para un sector interesado en la implementación de esta tecnología en el país, pues se emplean astillas de madera (comúnmente llamados chips) de cinco especies costarricenses de rápido crecimiento como combustibles para un gasificador con la capacidad de generación de calor y electricidad. En el proyecto se evaluó

el desempeño de la planta piloto en cada una de las especies forestales, lo cual permitiría definir las diferencias que existen al procesar cada una y aportar datos técnicos y objetivos a la investigación sobre los procesos de gasificación de biomasa a nivel nacional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se realizó en el Laboratorio de Biomateriales, el cual es parte de la Escuela de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Costa Rica. Cada especie forestal se obtuvo de las plantaciones propias de la Escuela dentro de las instalaciones de la universidad y de cada especie se adquirieron aproximadamente una tonelada de astillas. Se realizó un diseño experimental realizando por cada especie corridas por triplicado de 4 horas motor. La planta piloto utilizada se muestra en la Figura 1. Este gasificador, modelo Power Palet PP20, es de fabricación estadounidense, por la empresa All Power Labs. Las especificaciones técnicas más importantes de la planta piloto se muestran en el Cuadro 1. Para obtener los parámetros que describen el desempeño del proceso de gasificación tanto en sistema de reacción como en el sistema de generación de energía eléctrica se realizaron mediciones continuas de distintas variables dentro de la planta. Para ello se adaptó el módulo con una serie de sensores/transmisores que permitieron adquirir todos estos datos. En el Cuadro 2 se detallan la instrumentación utilizada para cada tipo de variable en el sistema.



**Cuadro 1. Especificaciones técnicas de la planta piloto Power Palet PP20 empleada en el estudio**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Régimen de potencia continua, kW	15@50Hz/18@60Hz
Tiempo máximo de operación, h	12
Tamaño de la biomasa, mm	12-40
Contenido de humedad base seca, %	5-30
Tipo de motor	HM Vortec
Tipo de generador	Mecc Alte NPE32-E/4 12 wire



**Figura 1.** Planta piloto Gasificador con reactor de lecho descendente

**Cuadro 2. Variables medidas e instrumentación utilizada**

<b>Variable</b>	<b>Instrumentación</b>
Flujo de aire	Medidor de flujo tipo Vortex
Humedad relativa y temperatura aire	Vaisala Humidity and Temperature Probe, serie HMP110
Flujo de syngas	Medidor tipo orificio (diseño propio)
Caídas de presión	Sensores de presión diferencias Dwyer
Temperaturas	Termocuplas AF WATLOW
Adquisición de datos	Chasis y módulos National Instruments
Composición en syngas	MCA 100 Syn Portable MULTICOMPONENT ANALYZER
Potencia y energía	Analizador de redes Fluke 435

Durante la planeación del diseño experimental se fijaron tres variables importantes dentro del proceso de gasificación. El valor deseado de humedad en la biomasa, el cual se fijó según fundamentos teórico-prácticos sobre la relación directa del contenido de humedad y eficiencia del proceso fue de un 18.00 %; para el tiempo de las corridas se consideró un intervalo de estado estable suficiente para el análisis de datos que en cuatro horas de operación se obtenía y la potencia eléctrica de 6.2 kW se fijó con las cargas eléctricas disponibles. Como se aprecia no se trabajó a potencia máxima, pues el objetivo es evaluar el desempeño del proceso comparando las especies forestales, lo cual aplica a cualquier valor de potencia eléctrica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica se resume en el diagrama de la Figura 2. Durante las diferentes etapas de transformación de la materia que se muestran existe una eficiencia y un rendimiento, por lo tanto, el estudio se basó en obtener dichos valores y poder compararlos entre especies forestales y determinar su desempeño en el proceso.



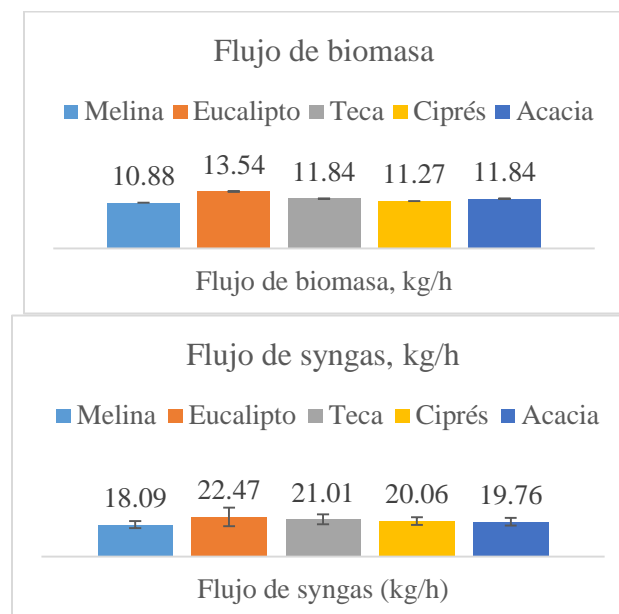
**Figura 2. Proceso de gasificación de biomasa para la generación de energía eléctrica**

Las astillas, previo a su alimentación, se acondicionaron en tamaño, mediante uso de tamices, y en humedad, empleando una cámara de control de humedad. En el Cuadro 3 se muestran los valores promedio de las variables fijas del estudio que, como se aprecia, se controlaron de manera exitosa

**Cuadro 3. Valor de las variables fijas determinadas durante el diseño experimental**

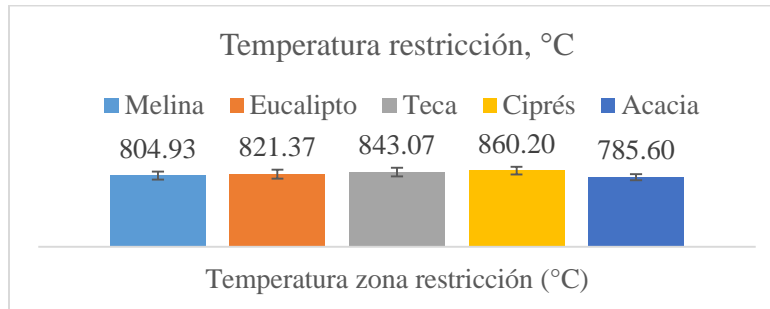
Variables fijas	Melina	Eucalipto	Teca	Ciprés	Acacia
Humedad en base húmeda, % m/m	17.82	17.75	17.80	17.83	18.47
Tiempo de operación del motor, h	4.22	2.38	4.33	4.41	3.37
Potencia eléctrica promedio, kW	6.02	6.18	6.19	6.13	6.24

A continuación, se muestran los valores de flujos del sistema: biomasa y syngas. Como se aprecia en la Figura 3, existió un consumo promedio de 11 kg/h de astillas para producir en promedio 20 kg/h de syngas. Existió variación a la hora de emplear melina, donde se consumió menos cantidad de astillas y producir, en promedio, menor cantidad de syngas, sin embargo, debido al error asociado a la desviación estándar de los datos (línea negra) se esperan valores de igual magnitud que al emplear los otros combustibles, pero en menor frecuencia.



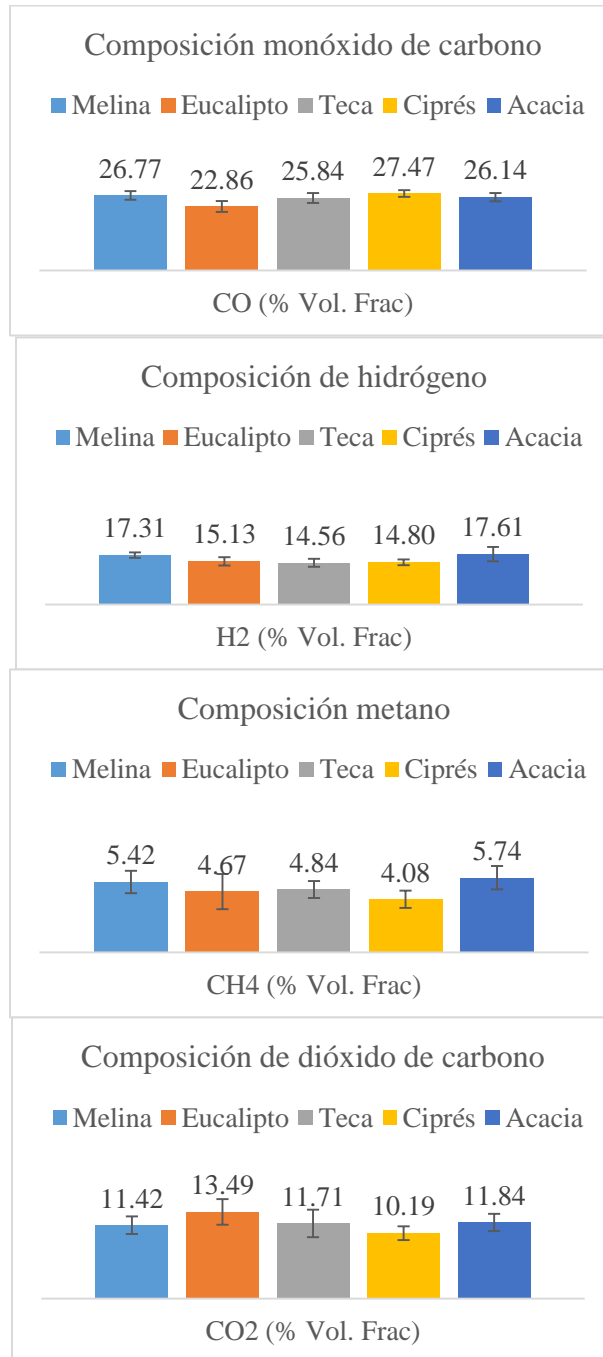
**Figura 3. Flujos de biomasa y syngas promedio y con su respectivo error para cada especie forestal**

Un aspecto importante que considerar es la temperatura en la zona de gasificación del reactor. En la Figura 4 se muestra cómo se alcanzaron en promedio 800 °C en esta zona, siendo el proceso con ciprés donde más energía se libera, alcanzado los 860 °C en promedio, lo cual está también relacionado con el poder calorífico del combustible el cual, según análisis fisicoquímicos previos, es mayor que el resto de las especies forestales.



**Figura 4. Temperatura de la zona de restricción del reactor para las cinco especies forestales**

Datos importantes en este proceso son de la composición del syngas, el cual es una mezcla de distintos componentes, siendo los más importantes el hidrógeno, el monóxido de carbono, el metano y el dióxido de carbono, pues son sus propiedades combustibles lo que permite que se utilice el gas en un motor de combustión interna para generar el trabajo mecánico que será utilizado por el generador para la producción de electricidad. Como se aprecia en la Figura 5 los promedios, junto a sus errores asociados, indican que no existen variación considerable en la composición del syngas entre especies forestales, lo cual indica que, al igual que la composición fisicoquímica de la madera como biomasa es similar entre estas especies forestales costarricenses, la composición del gas producto también lo será.

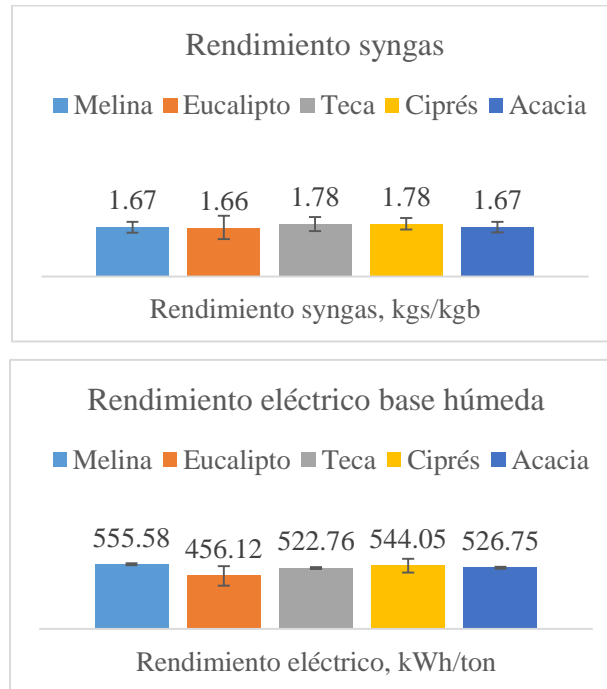


**Figura 5. Composición de syngas para las cinco especies forestales**

Como se describió en la Figura 2, existen rendimientos y eficiencias en las diferentes etapas del proceso de gasificación de biomasa. Estos parámetros se explican a continuación:

- **Rendimiento syngas:** Kilogramos de syngas producidos por kilogramo de biomasa alimentada.
- **Rendimiento eléctrico:** Energía producida en kWh por tonelada de biomasa alimentada.
- **Eficiencia de Gas Frío:** Desempeño de conversión de la energía térmica contenida en la biomasa en energía contenida en el syngas, luego del proceso de reacción.
- **Eficiencia térmica:** Conversión de la energía térmica en la biomasa a electricidad.
- **Eficiencia del generador:** Conversión de la energía térmica en el syngas a electricidad.
- **Razón equivalente:** Grado de combustión parcial, esencial para evaluar el desempeño de la oxidación de la biomasa como fuente de energía.
- **Conversión de carbono:** Cuantifica el grado de conversión de carbono sólido presente en la biomasa alimentada en carbono presente en el syngas

Los rendimientos de syngas entre especies no variaron considerablemente, en general se obtuvieron 1.71 kg de syngas por kilogramo de astilla de madera alimentada, independientemente del tipo de especie forestal como se aprecia en la Figura 6. Para el rendimiento eléctrico, solo el eucalipto se alejó del comportamiento encontrado de las otras especies debido a dificultades en el transporte de estas astillas en el sistema, lo cual provocó inestabilidad en el proceso. Excusando estas condiciones, se esperan aproximadamente 530 kWh entregados por tonelada de biomasa forestal en forma de astilla alimentada a 6.2 kW de potencia eléctrica.



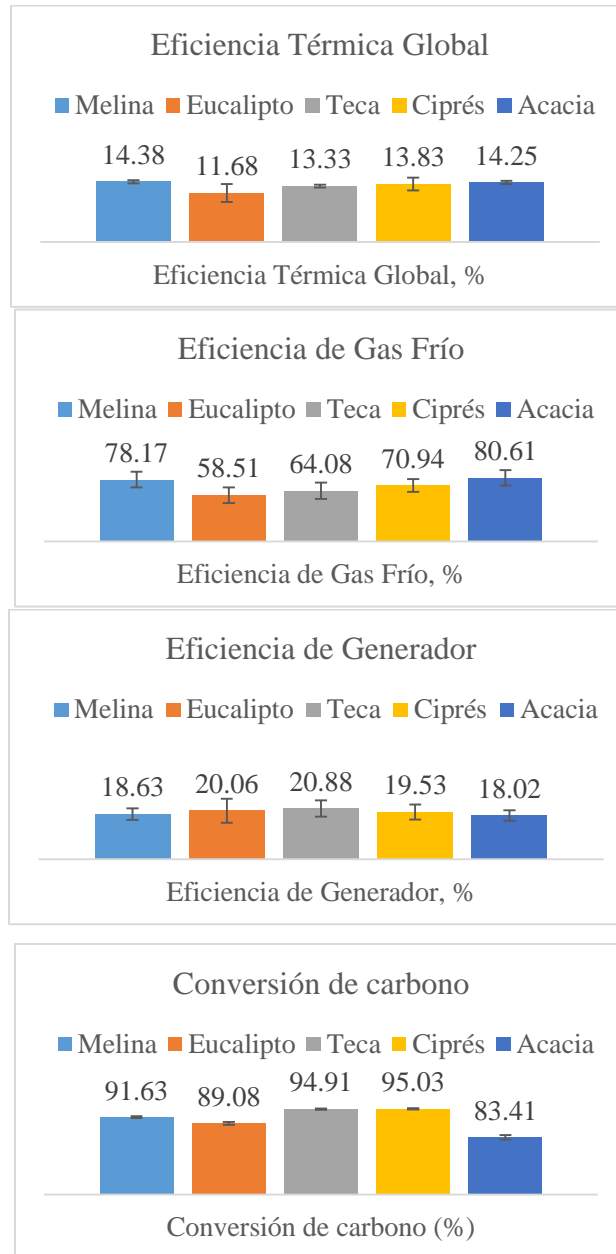
**Figura 6. Rendimientos del proceso de reacción y de generación eléctrica por especie forestal**

Las eficiencias del proceso para cada especie se muestran en la Figura 7. Estos parámetros demuestran una vez más como el proceso de gasificación de eucalipto se vio afectado por las configuraciones estructurales de la planta, pues las eficiencias fueron bajas en comparación con las demás especies, en las cuales las magnitudes de estos parámetros fueron similares entre sí. Estos resultados indican que para el caso de eucalipto se debe considerar un diseño específico del sistema de alimentación y del reactor para lograr un óptimo desempeño, pues a nivel teórico, esta especie debería ser capaz de igualar a todas las demás como combustible, pero por condiciones de estructuras macro de sus fibras o por su dureza, se obtuvo un menor desempeño en comparación a las demás especies estudiadas.

En el proceso de gasificación utilizando acacia existió una mayor acumulación de alquitranes (subproducto del proceso de gasificación) con bajo contenido de humedad en las corridas, lo cual implicó una acumulación de carbono mayor en comparación a las demás especies forestales. Sin embargo, un valor de 83.41 % de conversión de carbono sigue siendo un valor aceptable para un proceso de gasificación de biomasa, sin embargo, en este aspecto en



específico, las demás especies superaron la expectativa y lograron conversiones del 90 % y mayores, lo cual es lo ideal, como se aprecia también en la Figura 7.



**Figura 7. Eficiencias energéticas del proceso de gasificación y la conversión de carbono para las cinco especies forestales**

## CONCLUSIONES

- ✓ El desempeño del proceso de las astillas de eucalipto fue menor que el resto de las especies debido a problemas de transporte de las astillas en el sistema de alimentación y reacción.
- ✓ No se evidenció variación en la composición del syngas, flujo de biomasa y flujo de syngas entre especies forestales de manera significativa.
- ✓ Las astillas de madera de las especies forestales empleadas son óptimas para un proceso de generación de energía eléctrica debido a valores altos de eficiencias y rendimientos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Forestry & Natural Resources Development. (2014). Wood Chip for Biomass Power Generation. Retrieved January 1, 2017, from <http://www.active-energy.com/wood-chip-biomass-power-generation>
- Lara, J. ., Arias, D., & Villalobos, C. (2017). Árboles podrían convertirse en nueva fuente de electricidad. *La Nación*, (23 junio). Retrieved from [http://www.nacion.com/nacional/Arboles-podrian-nueva-fuente-electricidad\\_0\\_1647235280.html](http://www.nacion.com/nacional/Arboles-podrian-nueva-fuente-electricidad_0_1647235280.html)

## **EVALUACIÓN DE UN GENERADOR ELÉCTRICO ACCIONADO POR UNA BICICLETA ESTÁTICA.**

**Luis Antonio Castro López, Valdovinos Valdovinos Sergio Alexis, Galicia Sánchez  
Ovaldo Bonifacio Gaona Ponce, Fernando de Jesús García de la Torre, Gilberto de  
Jesús López Canteñs.**

**Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.  
Km. 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230. E. mail  
luis.2758g@gmail.com, 9515476318, México**

### **RESUMEN.**

En el presente trabajo se realizó la evaluación de un generador eléctrico accionado por una bicicleta estacionaria, analizando la potencia de entrada y la potencia de salida. Para realizar la medición de la potencia mecánica de entrada se instaló un torquímetro en un pedal de la bicicleta y se midió la velocidad angular. Para medir la potencia eléctrica de salida se instaló un voltímetro y un amperímetro en la salida del generador. Las pruebas se realizaron a diferentes velocidades (10, 15, 20, 25 y 30) km/h de la rueda de inercia de la bicicleta, con los datos obtenidos se realizaron gráficas para observar el comportamiento del sistema, posteriormente se realizó el análisis de los datos y las gráficas para determinar la eficiencia del sistema en cada una de las velocidades propuestas. Los resultados permiten observar que la velocidad a la que se logra una mayor eficiencia del sistema es entre los 15 y 20 km/h.

Palabras clave: calidad energética, energías renovables, evaluación.

### **ABSTRACT**

In the present work the evaluation of an electric generator driven by a stationary bicycle was performed, analyzing the input power and the output power. To measure the mechanical input power, a torque meter was installed on a rod of the bicycle and the angular velocity was measured. To measure the electrical output power, a voltmeter and an ammeter were installed at the output of the generator. The tests were carried out at different speeds (10, 15, 20, 25 and 30 km/h) of the bike's inertia wheel, with the data obtained graphs were made to observe

the behavior of the system, later the analysis of the the data and graphs to determine the efficiency of the system at each of the proposed speeds. The results allow to observe that the speed at which a greater efficiency of the system is achieved is between 15 and 20 km/hr.

**Key words:** energy quality, renewable energies, evaluation.

## INTRODUCCION

Un generador eléctrico accionado por una bicicleta estática puede ser una buena alternativa para producir energía limpia ya que existen muchos gimnasios de spinning en los cuales se pierden grandes cantidades de energía.

Al desarrollar una nueva tecnología, se debe someter a un proceso de evaluación, esto con el fin de conocer el comportamiento del sistema en términos de eficiencia.

La eficiencia de un sistema ya establecido como es el caso de los aerogeneradores oscila entre 12 y 40% en los de gran tamaño y en el caso de los pequeños aerogeneradores se estima entre 15 y 30%, mientras que en los alternadores automotrices la eficiencia varía entre 50 y 72 % (Moreno, 2015).

En el presente trabajo se realizaron pruebas a un generador eléctrico adaptado a una bicicleta estacionaria a diferentes velocidades midiendo el torque necesario para vencer el pedal de la bicicleta y la velocidad angular del mismo para obtener la potencia de entrada, asimismo la diferencia de potencial y la intensidad de corriente generada para obtener la potencia de salida, esto con el objetivo de determinar la eficiencia del sistema.

## MATERIALES

El sistema que se evaluó se compone de 1 batería fotovoltaica, 1 generador de 70A a 12V el cual tiene integrado 1 puente de diodos rectificadores y 1 controlador de carga de 12V.

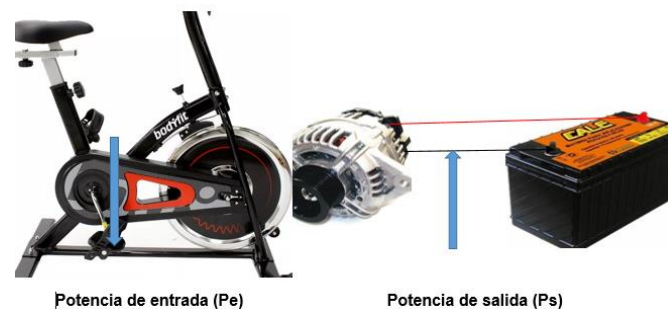
Para medir la cantidad de energía consumida se ocupó un torquímetro y un cronometro digital.

Para medir la corriente y el voltaje producido se utilizaron 2 multímetros convencionales y para medir la velocidad de la rueda de inercia se utilizó el display provisto la bicicleta estática.

Las mediciones se hicieron a diferentes velocidades de la rueda de inercia (10,15,20,25,30,35 km/h).

### METODOLOGIA

Para el análisis del funcionamiento del sistema se realizaron 2 pruebas, una para obtener la potencia de entrada y otra para obtener la potencia de salida. La potencia de entrada fue medida en el pedal de la bicicleta, el cual fue reemplazado por un torquímetro manual; la potencia de salida fue medida en la salida del alternador, antes de la batería, según se muestra en la figura 1.



**Figura 8. Diagrama general, potencia de entrada (Pe) y potencia de salida (Ps). Fuente: Propia.**

#### **Prueba para determinar la potencia de entrada al sistema.**

Se partió del siguiente principio para obtener la potencia de entrada en Watts.

$$Pe = Te * \omega \quad (1)$$

Donde:

Pe= potencia de entrada (W)

$T_e$  = Torque efectivo (Nm)

$\omega$  = velocidad angular (rad/s)

Esta prueba se realizó remplazando un pedal de la bicicleta estática por un torquímetro, una vez estando el sistema en funcionamiento se midió el tiempo que tardaban los pedales en dar 5 revoluciones ( $10\pi$  radianes) y se registró el dato del tiempo y del torque máximo requerido para dicho trabajo. Se realizaron trece repeticiones a diferentes velocidades esto con el objetivo de obtener un modelo que describa el comportamiento del torque máximo en relación a la velocidad angular de los pedales.

### **Prueba para determinar la potencia de salida del sistema.**

Se partió del siguiente principio para obtener la potencia de salida en Watts.

$$P_s = V * I \quad (2)$$

Donde:

$P_s$  = Potencia de salida (W)

$V$  = Voltaje (V)

$I$  = Intensidad de corriente (A)

Para esta prueba se conectó un multímetro directamente a la batería para medir el voltaje producido, de igual forma se conectó un multímetro, pero este al (+) de la batería y al (+) del generador para medir la corriente generada.

Una vez conectado se accionó la bicicleta, se empezaron a registrar los datos de corriente y voltaje a partir de 10 km/h, se fue aumentando la velocidad y tomando los datos cada aumento de 5 km/h hasta llegar a 35 km/h.

## RESULTADOS

Los datos obtenidos en la medición de torque máximo y velocidad angular están descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Datos obtenidos en la prueba de potencia de entrada.

tiempo en 5 rev. del pedal (s)	vel angular en pedales (rad/s)	torque (Nm)
17.37	1.80	19
15.38	2.04	14
13.87	2.26	17
16.31	1.92	16.5
10.94	2.87	21
9.37	3.35	24
9.11	3.44	23
8.51	3.69	25
8.55	3.67	23
26.85	1.17	13
25.88	1.21	12.5
25.2	1.24	13
28.87	1.08	11.5

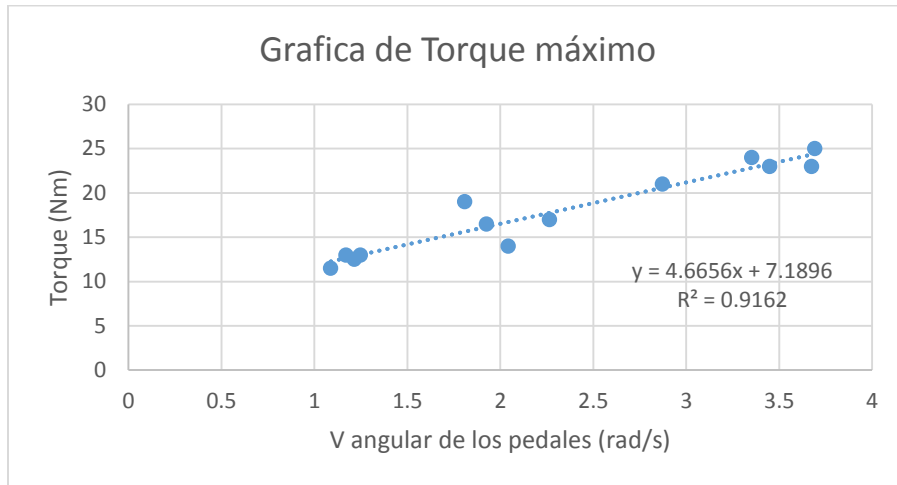


Gráfico 1. Gráfica que describe el comportamiento del torque en el sistema.

Tomando en cuenta el modelo propuesto por García et al. (2009), para obtener el torque efectivo (figura 2), se propone la gráfica de la figura 2.

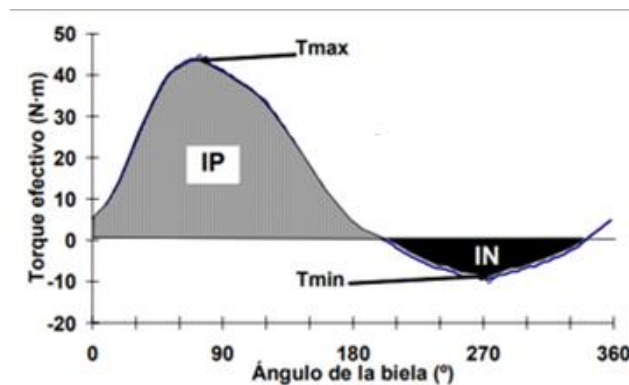


Figura 2. Modelo que describe de la potencia efectiva en un ciclo del pedal. Fuente: [upcommons.upc.edu](http://upcommons.upc.edu)

Tomando en cuenta dicho modelo, los resultados del torque efectivo a diferentes velocidades de la rueda de inercia se describen en la tabla 2.



Tabla 2. Relación de potencia de entrada al sistema a las diferentes velocidades analizadas de la rueda de inercia.

Velocidad rueda de inercia (km/hr)	Velocidad angular en los pedales (rad/s)	Torque efectivo (Nm)	Potencia de entrada (W)
10	4.12	6.76	27.90
15	6.18	9.23	57.08
20	8.24	11.69	96.42
25	10.30	14.15	145.91
30	12.36	16.61	205.56
35	14.42	19.08	275.36

Los datos referentes a la intensidad de corriente generada están descritos en la tabla 3.

Tabla 3. Datos de corriente eléctrica obtenidos en la prueba de potencia de salida.

VELOCIDAD	CORRIENTE (A)							
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 7	PRUEBA 8	PROMEDIO
10	0.4	0.2	0.46	1.2	0.16	0.72	0.59	0.53
15	1.7	1.7	1.63	3.06	1.17	2.3	3.09	2.09
20	2.4	2.44	2.29	3.04	2.76	3.2	3.06	2.74
25	2.28	2.37	2.18	3.07	2.92	3.12	3.04	2.71
30	2.17	2.15	2.19	2.9	2.5	2.76	2.8	2.49
35	2.27	2.05	2.18	3.4	2.66	2.66	2.59	2.54

El voltaje generado a diferentes velocidades se menciona en la tabla 4.

Tabla 4. Datos de voltaje obtenidos en la prueba de potencia de salida.

VELOCIDAD	VOLTAJE (V)							PROMEDIO
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	PRUEBA 6	PRUEBA 7	
10	12.09	11.88	11.88	11.87	11.83	11.92	11.88	11.90
15	11.94	11.94	11.88	12	11.84	12	12.02	11.94
20	11.95	11.97	11.91	12.9	11.93	12.1	12.09	12.12
25	11.96	11.99	11.94	12.15	12.16	12.17	12.16	12.07
30	11.95	12.01	11.94	12.2	12.24	12.22	12.21	12.11
35	12.01	11.95	11.98	12.24	12.25	12.26	12.22	12.13

La potencia eléctrica generada se menciona en la tabla 5.

Tabla 5. Potencia eléctrica calculados a partir del voltaje y la corriente eléctrica obtenidos en la prueba de potencia de salida.

velocidad (km/hr)	corriente (A)	voltaje (V)	potencia de salida (W)
10	0.53	11.90	6.34
15	2.09	11.94	25.00
20	2.74	12.12	33.23
25	2.71	12.07	32.74
30	2.49	12.11	30.22
35	2.54	12.13	30.86

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez que se midió la energía de entrada y la energía de salida se procedió a calcular la eficiencia en cada una de las velocidades propuestas (10,15,20,25,30 km/h). Los cálculos correspondientes pueden verse en la tabla 6 y en la gráfica 2.

Tabla 6. Comparación de la energía de entrada y energía de salida y cálculo de la eficiencia del sistema.

Velocidad (km/h)	Potencia de entrada (W)	Potencia de salida (W)	Eficiencia (%)
10	27.90	6.34	22.74
15	57.08	25.00	43.79
20	96.42	33.23	34.46
25	145.91	32.74	22.43
30	205.56	30.22	14.70
35	275.36	30.86	11.20

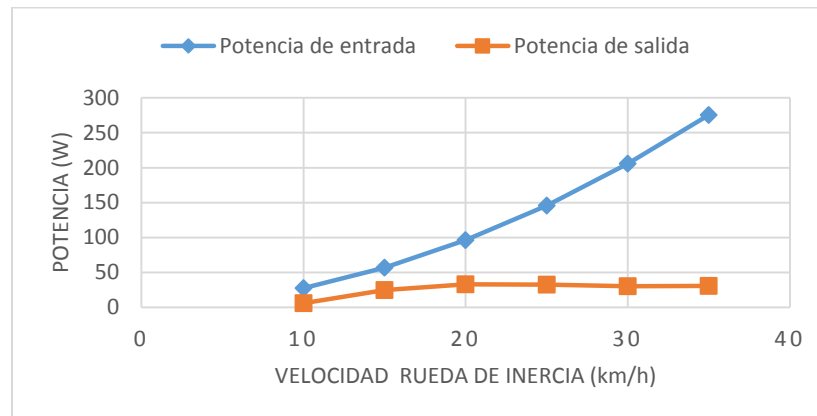


Gráfico 2. Relación entre la potencia de entrada y la potencia de salida.

### CONCLUSION

Con los datos obtenidos y calculando la eficiencia del sistema en las velocidades analizadas se concluye que el sistema es más eficiente a 15 km/h obteniendo un valor máximo de 43.79%, esto se debe a que es la velocidad en la que existe menos pérdidas por fricción.

Analizando el valor máximo de la eficiencia del sistema a las diferentes velocidades en la rueda de inercia (43.79%), esta se encuentra dentro del rango de eficiencia de un sistema ya establecido como es el caso de los aerogeneradores (12-40) y levemente menor al establecido para alternadores automotrices (50-70%). Esto muestra que este sistema es una buena alternativa para generar energía limpia ya que aprovecha la energía de forma eficiente.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

López, W. y Nieto, O. (2015). *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. Colombia. Pereira.

Peña, R. (2016). *Diseño de un sistema de conversión de energía mecánica a eléctrica a partir de dos máquinas de gimnasio (elíptica y bicicleta estática)*. Bogotá.D.C.

García, J. Villa, J. y Rodríguez, A. (2009). *Eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo*. Universidad de León. España.

## GEO INFORMÁTICA

## GENERACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL CON FOTOGRAMETRÍA UAS

Leonardo Brenes-González<sup>1</sup>, Sergio Arriola-Valverde<sup>1</sup>, Karolina Villagra-Mendoza<sup>2</sup>, Natalia Gómez-Calderón<sup>2</sup>, Milton Solórzano-Quintana<sup>2</sup>, y Renato Rimolo-Donadio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Electrónica, <sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 30101 Cartago, Costa Rica. P.O. Box 159-7050 Cartago, Costa Rica, Tel. (506) 2550-9280, {sarriola, kvillagra, ngomez, msolorzano, rrimolo}@tec.ac.cr.

### RESUMEN

Se presenta en este trabajo una metodología para la realización de levantamientos fotogramétricos con el fin de crear modelos de elevación digital con alta resolución espacial, los cuales pueden ser utilizados en diversas aplicaciones. Los levantamientos se llevan a cabo con sistemas aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Systems*, UAS) dada la versatilidad de las plataformas, bajo costo relativo y la posibilidad de lograr una alta resolución espacial en los productos. Se presenta en este artículo casos de estudio donde se obtienen modelos de parcelas agrícolas a resoluciones de hasta 2.55 cm por pixel, con base en una adecuada planificación de la misión de vuelo, orientación y referenciación espacial del sensor de imagen, así como la utilización de puntos de control en tierra.

**Palabras claves:** cartografía tridimensional, fotogrametría, modelo de elevación digital, sistemas aéreos no tripulados (UAS).

### ABSTRACT

In this paper, a methodology for the realization of photogrammetric surveys is presented, focusing on the creation of digital elevation models with high spatial resolution, which can be used in various applications. The surveys are carried out with unmanned aerial systems (UAS) due to the versatility of the platforms, low relative cost, and the possibility of achieving a high spatial resolution in the photogrammetric products. This article presents case studies where models of agricultural plots are obtained at resolutions up to 2.55 cm/pixel, relying on an adequate planning of the flight mission, orientation and spatial referencing of the image sensor, as well as the utilization of ground control points.

**Keywords:** 3D cartography, photogrammetry, digital elevation model, photogrammetry, unmanned aerial system (UAS).

## INTRODUCCIÓN

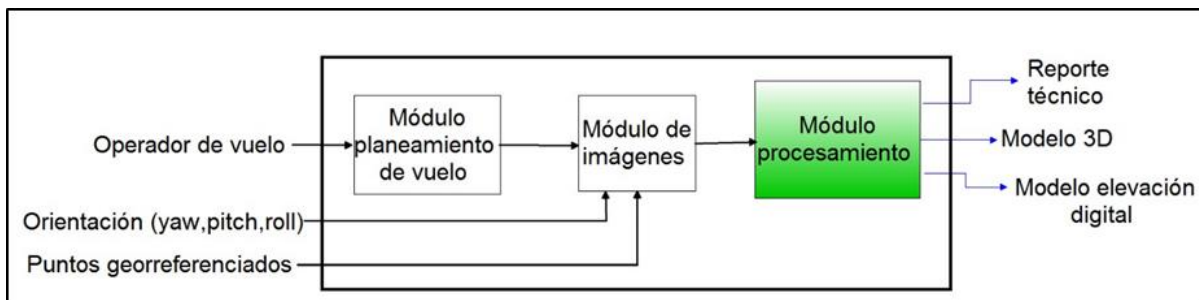
Técnicas fotogramétricas (ASPRS, 2017) son ampliamente utilizadas para inspección terrestre y creación de modelos topográficos en diversas aplicaciones como agricultura, ordenamiento terrestre, modelado de cuencas, entre muchos otros (ver, por ejemplo, (Graham, 2002), (Konecny, 2014)). La fotogrametría se puede realizar a través de diversas plataformas tales como satélites, aviones tripulados o no tripulados o vehículos terrestres, cuya escogencia se base en la resolución espacial deseada y el área de cobertura. Los sistemas UAS son una buena alternativa, efectiva en costos y fácilmente transportable, cuando se desea una alta resolución espacial, a cambio de una baja cobertura (zonas con tamaños de hasta unas pocas hectáreas dependiendo de la plataforma, su peso y capacidad de las baterías). Debido a la baja altura, la interferencia atmosférica es baja y no es necesario la utilización de técnicas de rectificación complejas. Las imágenes adquiridas por un sensor a bordo de plataformas UAS pueden ser utilizadas, con la adecuada georreferenciación y procesamiento, para mapeo tridimensional de superficies. Dichos modelos, conocidos como nubes de puntos, permiten luego la generación de productos fotogramétricos como modelos de elevación digital (digital elevation models, DEMs) u ortomosaicos (Ezequiel, 2014).

Este trabajo propone una metodología para generar modelos tridimensionales mediante la técnica de fotogrametría UAS para aplicaciones en agricultura, específicamente a parcelas para cultivos de bajo porte. Se discuten casos de aplicación donde se logran obtener resoluciones de hasta 2 cm/pixel con la utilización de puntos de control en tierra (ground control points, GCP).

### **Metodología para obtención modelos de elevación digital**

En la figura 1 se muestra el diagrama general de la metodología utilizada para la generación de DEMs, la cual consta de tres fases: el planeamiento y ejecución del vuelo (levantamiento

fotogramétrico), el acondicionamiento de las imágenes con la información de posición del sensor y su orientación, y el procesamiento de las imágenes para la creación de los modelos tridimensionales.



**Figura 9** Diagrama para la metodología de generación de mapas 3D.

- ***Levantamiento fotogramétrico***

El proceso inicia con la planificación del vuelo con el sistema UAV, durante el cual se debe revisar las condiciones ambientales, realizar una inspección del sistema UAV (pre-flight checks) y del lugar del levantamiento (por ejemplo, para valorar la presencia de obstáculos. Además, en esta fase se deben colocar los marcadores en los puntos de referencia. En el caso de utilizar GCP, la ubicación y demarcación se debe realizar previamente a los vuelos. A continuación, se debe planificar la misión de vuelo, lo que incluye la definición de la altura de vuelo, recorrido y posición de las tomas, así como la configuración del sensor de imagen. Esta planificación se realiza primero con fórmulas aproximadas y luego se verifica con las aplicaciones de control de la aeronave. Se recomienda en todo caso un traslape longitudinal y transversal superior al 80%. En la figura 2 se ilustran la secuencia de pasos a seguir, la cual culmina con la ejecución de la misión.

La realización de las misiones se ejecuta de forma automatizada, con controladores de piloto automático, lo que permite una adquisición más regular y planificada. Si bien algunas plataformas incluyen con las imágenes la información de posicionamiento, en caso de que no se incluya, el siguiente paso es referenciar las imágenes con los datos de posición

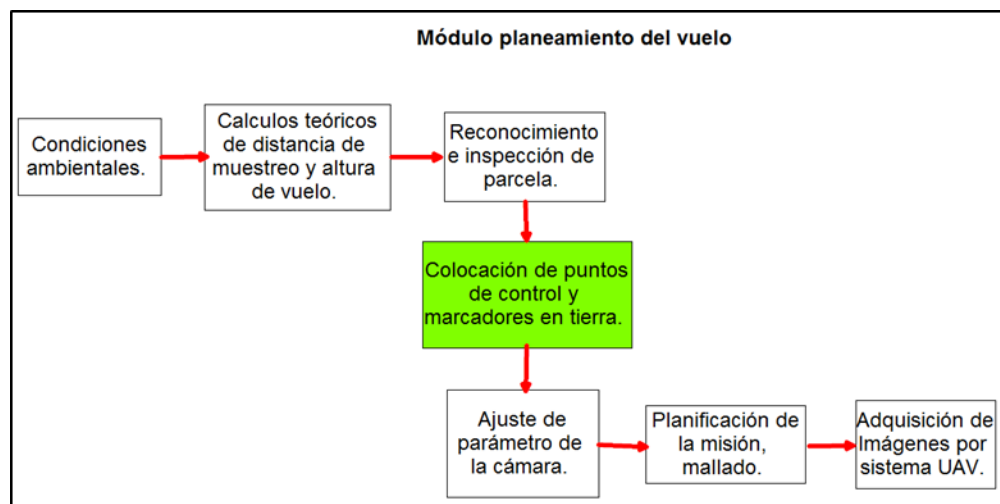


(coordenadas y altitud) y orientación del sensor (en términos de los ángulos de navegación (“roll”, “pitch” y “yaw”) al momento de las tomas. Es preferible que las imágenes estén en un formato con baja o ninguna compresión, con el fin de maximizar la resolución a costas de un volumen de información mucho mayor.

- **Procesamiento de las imágenes**

La construcción de los modelos 3D a partir de imágenes 2D y los datos de ubicación y orientación se realiza comúnmente a través de alguna variante de la técnica “Structure from motion” (SfM) que involucra algoritmos de identificación y proyección de las imágenes, para llegar a la creación de modelos de nube de puntos. Estos modelos luego se pueden procesar para agregar texturas o derivar otros productos como modelos de elevación digital u ortomosaicos.

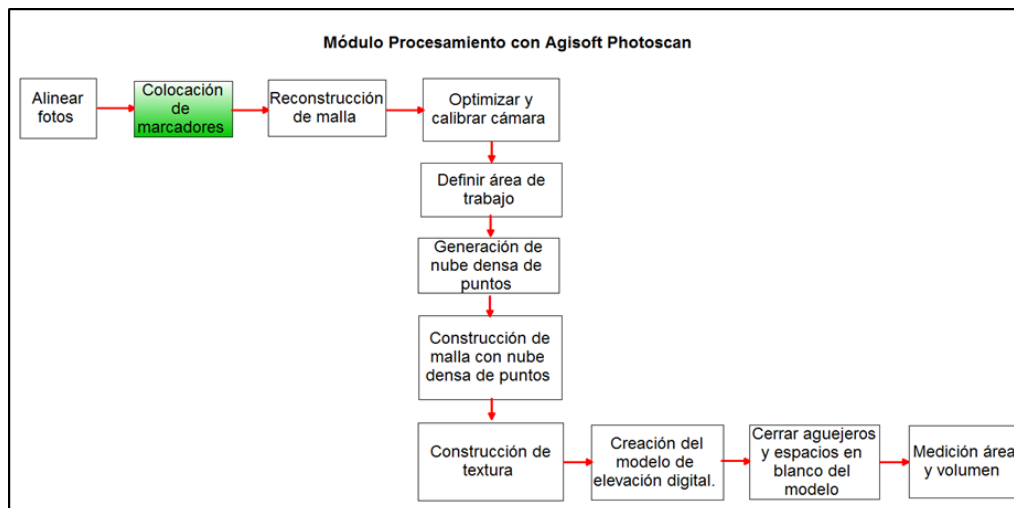
En este trabajo se utiliza el software de fotogrametría Agisoft PhotoScan Profesional (Agisfot, 2018), cuyo flujo de trabajo se resume en la figura 3. El procesamiento inicia con la alineación de fotografías, dónde se busca la posición y orientación de cada imagen utilizando diferentes algoritmos de correspondencia, lo que culmina con la generación de una nube escasa de puntos.



**Figura 10** Secuencia para la realización de los levantamientos fotogramétricos.

La señalización de los puntos de control o marcadores tiene la función de mejorar la precisión de los datos durante el procesamiento. Como los puntos de control se toman con una estación de referencia GNSS, la resolución de los mismos puede ser muy alta, en el orden de unos pocos milímetros, en comparación con los datos de posicionamiento dados por el sistema UAV, que usualmente sólo disponen de un sensor GPS de frecuencia sencilla cuya precisión anda en el orden de unos cuantos metros. Una visualización clara en las fotos ayuda a la correcta identificación de esos puntos en la etapa de procesamiento.

Seguido, la construcción de una malla identifica la superficie preliminar obtenida, la cual es luego depurada con la información de la cámara y GCPs/marcadores para obtener lo que se conoce como la nube de puntos densa (DPC) sobre un área de interés. La DPC permite obtener un modelo más detallado a partir del cual se pueden agregar texturas y otros productos fotogramétricos como DEMs u ortomosaicos.



**Figura 11** Secuencia para el procesamiento de las imágenes

### Validación de la metodología

La metodología antes descrita se aplicó para el estudio de una parcela agrícola en el campo experimental de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el campus central en Cartago. En la figura 4 se observa el área bajo estudio, en la cual se instalaron cinco puntos de control con una estación de referencia GNSS (*Global Navigation*

*Satellite System*) *Leica GS-14* en modo posprocesamiento. Estos puntos son identificados en las imágenes aéreas a través de marcadores impresos en blanco y negro.

El levantamiento fotogramétrico se realizó con el sistema UAS X8+ de la compañía 3DR, el cual cuenta con ocho motores en configuración axial y un controlador central *Pixhawk* que permite la realización de vuelos autónomos programados. El control desde tierra se realiza con la aplicación *Mission Planner*. En cuanto al sensor de imagen, se utiliza una cámara *GoPro Hero4*, la cual cuenta con un sensor de imagen con una resolución máxima de 12MP. Dado que la cámara no posee un sistema de obturación remota que se pueda controlar desde el sistema UAS, la configuración para la toma de imágenes se realiza bajo el modo “*time lapse*”, que luego permite sincronizar los datos con el registro de vuelo y la información de posicionamiento.

La ruta programada se muestra en la figura 6 y cubre aproximadamente un área de 4103 m<sup>2</sup> a una altura de 17 metros sobre el nivel del punto de despegue. El modelo procesado a partir del levantamiento realizado se muestra en la figura 7, dónde además de la nube de puntos densa se identifican los GCPs con las banderas azules. Finalmente, el DEM se muestra en la figura 8, el cual denota altitudes consistentes con la topografía del terreno y estimaciones en tierra, con alturas que oscilan entre los 1383 y 1395 metros sobre el nivel del mar. La resolución obtenida para el DEM fue de 2.55 cm/píxel y la nube de puntos densa se componen de más de 11 millones de puntos.

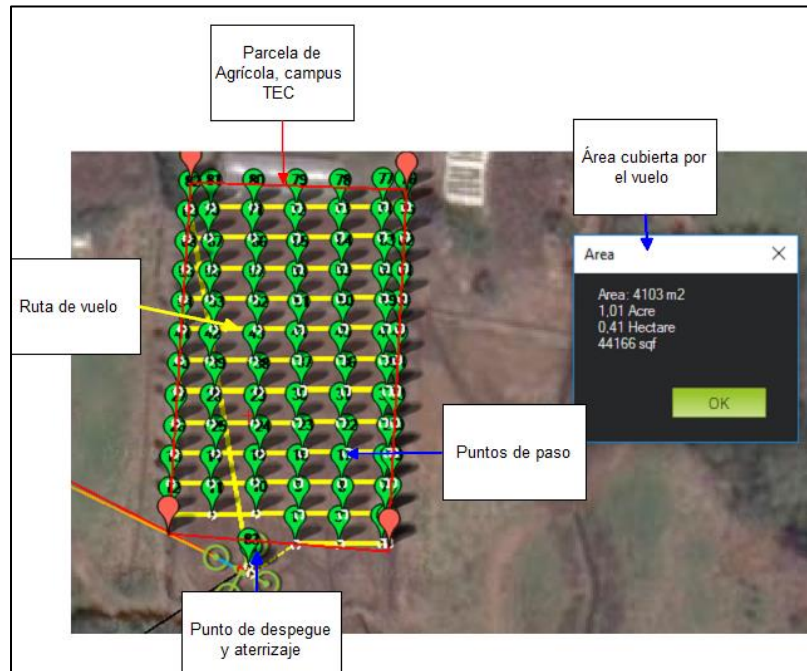


**Figura 12** Fotografías del campo de prácticas utilizado.

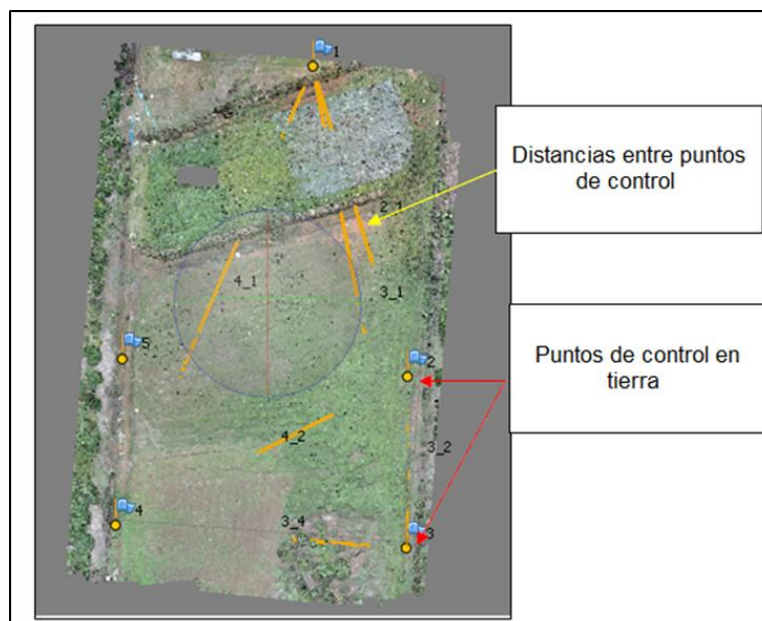


**Figura 5** Sistema UAS y cámara utilizado para los levantamientos fotogramétricos.

La Tabla 1 muestra algunos parámetros reportados por el software de procesamiento, dónde se destaca que no todas las fotos pudieron ser alineadas y que además la altura proyectada es menor que la definida en la misión. La incertidumbre en las proyecciones y coordenadas resulta mayor a la resolución espacial proyectada, lo que responde a deficiencias en algunas imágenes (por ejemplo, borrosas) y errores en la toma o identificación de los GCP. Experiencias posteriores han demostrado que la sistematización de estos factores permite minimizar los errores (Arriola, 2018). Más información sobre la metodología y los resultados puede ser consultada en (Brenes, 2016).

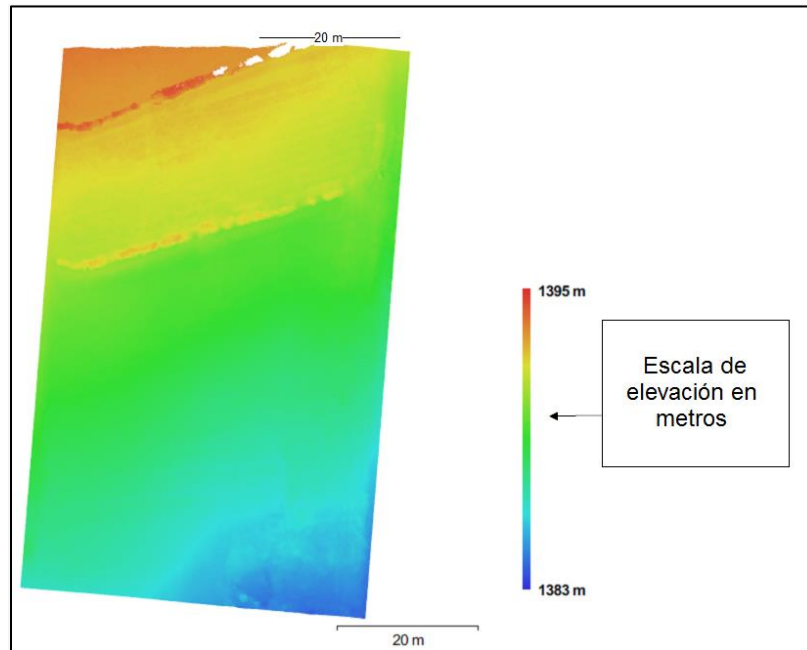


**Figura 6** Ruta automática definida en el lugar bajo estudio.



**Figura 7** Nube densa de puntos procesada a partir del levantamiento fotogramétrico.





**Figura 8** Modelo de elevación digital obtenido para la parcela bajo estudio.

**Tabla 1** Resultados del procesamiento del modelo tridimensional

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Área cubierta	4442.04 m <sup>2</sup>
Cantidad de imágenes utilizadas	218 de 242
Altura de vuelo proyectada	12,9 m
Distancia focal de la cámara	3 mm
Errores en puntos de control (xy,z)	(0.086 , 0.014) m
Errores de distancia entre puntos de control	29,43 cm
Resolución del modelo de elevación	2.55 cm/pix
Densidad de puntos del modelo de elevación	1538.49 puntos/m <sup>2</sup>

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta en este trabajo permitió la generación de modelos digitales de elevación con altas resoluciones espaciales. Se evidencia que el planeamiento de la misión de vuelo, con la adecuada selección de tomas georreferenciadas y utilización de GCPs, es necesario para poder alcanzar resoluciones en el orden de unos pocos centímetros por pixel. La metodología para la construcción de modelos de elevación digital y 3D, generó una resolución espacial de 2,55 cm/pixel en el mejor de los casos, empleando 5 puntos de control en tierra e imágenes con una resolución de 5 MP. Es crítico para el correcto procesamiento de las imágenes y su alineación, que exista suficiente traslape vertical y horizontal en las tomas (mayor al 70%). La colocación y correcta identificación de los GCP en tierra a través de marcadores también es muy importante para lograr una alta resolución espacial y minimizar los errores.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo del Centro de Investigaciones en Construcción (CIVCO), del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el préstamo del equipo GNSS y el levantamiento de los puntos de control en tierra en la parcela bajo estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agisoft (2018) PhotoScan Professional, [en línea]: <http://www.agisoft.com/>.
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), The imaging and geospatial information society, (2017) [Available online] <https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html>
- S. Arriola, K. Villagra-Mendoza, M. Méndez-Morales, N. Gómez-Calderon, M. Solórzano-Quintana, R. Rimolo-Donadio (2018). "Cuantificación de la Erosión Hídrica a través de Fotogrametría UAS". Aceptado, XIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola CLIA 2018, San José, Costa Rica.

- L. Brenes, (2016). Metodología para la generación de mapas tridimensionales para fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado. Cartago: Proyecto de Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- C. Ezequiel, M.Cua, N.Libatique, G.Tangonan, R.Alampay, R.Labuguen, . . . J.L.Honrado, V. C. (2014). UAV Aerial Imaging Applications for Post Disaster Assessment, Environmental Management and Infrastructure Development. Orlando, FL, USA: International Conference on Unmanned Aircraft Systems.
- R. Graham and A. Koh, (2002). Digital aerial survey, theory and practice. Whittles Publishing.
- G. Konecny (2014), Geoinformation, Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems, 2 Ed., CRC Press.



## SEPARAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DE CAFEEIROS UTILIZANDO ÍNDICES DE VEGETAÇÃO ATRAVÉS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

**Gabriel Araújo e Silva Ferraz (Universidade Federal de Lavras-UFLA,  
[gabriel.ferraz@deg.ufla.br](mailto:gabriel.ferraz@deg.ufla.br), +55 35 3829-4566, Brasil)**

**Luana Mendes Gonçalves (UFLA, [luanna\\_mendess@yahoo.com.br](mailto:luanna_mendess@yahoo.com.br), Brasil)**

**Daniel Andrade Maciel (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE,  
[damaciel\\_maciel@hotmail.com](mailto:damaciel_maciel@hotmail.com), Brasil)**

**Brenon Diennevan Souza Barbosa (UFLA, [b.diennevan@outlook.com](mailto:b.diennevan@outlook.com), Brasil)**

**Diogo Tubertini Maciel (UFLA, [diogo.maciel@deg.ufla.br](mailto:diogo.maciel@deg.ufla.br), Brasil)**

### RESUMO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) estão surgindo como ferramentas para obtenção de dados e auxílio no monitoramento de campo dentro da Agricultura de Precisão. Com esta nova ferramenta pode-se obter perspectivas aéreas com alta resolução espacial e temporal, podendo embarcar câmeras e sensores para obtenção de imagens com baixo custo em relação às imagens de satélites e à aerofotogrametria. A partir destas imagens, é possível obter índices e compreender a cobertura vegetal. O índice mais usual é o NDVI, porém para utilizá-lo requer investimento em sensores que captam imagens na faixa espectral do infravermelho próximo (NIR) e estes podem encarecer o custo final desta tecnologia. Uma alternativa são os índices de vegetação que só utilizam o espectro do visível (RGB) como Vgreen, VEG, ExG. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo utilizar uma RPA para obtenção de imagens RGB e obter a separação da cobertura vegetal de cafeeiros utilizando índices de vegetação. O experimento foi realizado em uma área de cafeeiros da Agência de Inovação do Café – INOVACAFÉ na Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras, Minas Gerais, Brasil. A imagem foi obtida utilizando uma RPA de asa rotativa, de voo autônomo, contendo câmera convencional, com altura de 100 m. O processamento das imagens para construção dos mapas foi realizado em um software de geoprocessamento. Foi possível gerar os índices para mapeamento da cobertura vegetal. Os mapas temáticos das

imagens processadas com os três índices estudados permitiram detectar e separar em diferentes classes a cobertura vegetal na região estudada.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Agricultura de Precisão, Drone, Geoprocessamento, Índices Espectrais.

### **ABSTRACT**

Remotely Piloted Aircraft (RPA) are emerging as tools for data collection and field monitoring assistance within Precision Agriculture. With this new tool one can obtain aerial perspectives with high spatial resolution (in centimeters), temporal (daily) and also embark cameras and sensors to obtain images with low cost in relation to the satellite images and aerophotogrametria. From these images, it is possible to obtain index and to understand the vegetal cover. The most common index is NDVI, but to use it requires investment in sensors that capture images in the near infrared spectral range (NIR), and these can make the final cost of this technology more expensive. An alternative is vegetation index that only use the visible spectrum (RGB) such as Vigree, VEG, ExG. In this sense, the objective of this work was to use a RPA to obtain RGB images and to obtain the separation of the vegetal cover of coffee trees using vegetation indexes. The experiment was carried out in a coffee area of the Coffee Innovation Agency - INOVACAFÉ at the Federal University of Lavras - UFLA, in Lavras, Minas Gerais, Brazil. The image was obtained using a rotating wing (quadricoptero), autonomous flight RPA, containing RGB camera (visible band), with flight height of 100 m. The processing of the images for the construction of the maps was done in geoprocessing software. It was possible to generate the index for mapping the vegetation cover. The thematic maps of the images processed with the three index studied allowed detecting and separating the vegetation cover in the studied region in different classes.

### **KEYWORDS**

Precision Agriculture, Drone. Geoprocessing, Spectral Index.

## INTRODUÇÃO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) estão surgindo como ferramentas para obtenção de dados e auxílio no monitoramento de campo dentro da Agricultura de Precisão. Esta ferramenta recente pode contribuir muito com os produtores rurais, visto que a utilização e a aplicação de novos conhecimentos no meio rural auxiliam o produtor a identificar estratégias que possam aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade das colheitas.

A utilização de uma RPA permite obtenção de perspectivas aéreas com alta resolução espacial (em centímetros), temporal (diariamente) e também embarcar câmeras e sensores para obtenção de imagens com baixo custo em relação às imagens de satélites e à aeronaves tripuladas e de maior porte. Uma difundida técnica de análise de imagens é a obtenção de índices de vegetação (IV) e compreensão da cobertura vegetal. De acordo com Gitelson et al. (2002) as informações derivadas dos IV geralmente são menos sensíveis à iluminação e outros fatores que afetam a reflectância dos objetos. Assim a utilização de IV acentuam objetos de interesse facilitando a obtenção de informações relevantes de imagens digitais e uma posterior classificação de alvos de interesse (Guerrero et al., 2012; Delegido et al., 2013 ).

O IV mais usual é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), porém para utilizá-lo requer investimento em sensores que captam imagens na faixa espectral do infravermelho próximo (NIR -Near Infrared, com faixa de 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) e estes podem encarecer o custo final desta tecnologia. Uma alternativa são os IV que utilizam o espectro VIS (Visível com faixa de 0,4 a 0,7 $\mu\text{m}$ ) como o VGreen (Normalized Difference of the Green and Red bands), Vegetativen (VEG) e o Excess Green (ExG).

Desta forma, este trabalho teve por objetivo utilizar uma RPA para obtenção de imagens RGB e obter a separação da cobertura vegetal de cafeeiros utilizando três diferentes índices de vegetação (VGreen, VEG e ExG).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área cultivada com cafeeiros pertencentes à Agência de Inovação do Café – INOVACAFÉ da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras,

Minas Gerais, Brasil (Figura 1). A imagem foi obtida no dia 02 de dezembro de 2016 à uma altura de voo de 100 m de altitude em relação ao solo utilizando uma RPA com plataforma de asa rotativa com quatro hélices (quadricóptero), voo autônomo, composto por quatro motores alimentados por uma bateria, com autonomia de voo de até 23 minutos, com decolagem e aterrissagem vertical e gimbal para estabilização da câmera durante a obtenção das fotos. Esta RPA possui Sistema de Posicionamento Global (GPS) integrado cujo controle é realizado por meio de um controle remoto.

A RPA possui uma câmera digital acoplada em sua estrutura da marca Sony, modelo EXMOR 1/ 2.3'', com resolução de 12 megapixels em cores verdadeiras RGB (Red, Green, Blue), e resolução radiométrica de 8 bits, lente 20 mm com abertura de f/2.8, com tamanho máximo de imagem de 4000 x 3000 pixels. As imagens capturadas foram armazenadas em um Cartão SD, e posteriormente exportadas para o software de geoprocessamento para processamento das mesmas.



**Figura 13. Imagem dos cafeeiros coletada por meio de Aeronaves Remotamente Pilotada com altura de voo de 100m.**

O processamento da imagem para construção do mapa dos índices de vegetação foi realizado em um software de geoprocessamento. Para quantificar a cobertura vegetal, realizou-se operações aritméticas com as bandas espectrais (Torres-Sánchez et al., 2014), no caso com as bandas RGB (Red, Green, Blue) representando as bandas do visível, baseado no uso dos IV: Vigreen proposto por Gitelson et al. (2002) observada na Equação (1); VEG (vegetative)

proposto por Marchant e Onyango (2002) Equação (2) e ExG (Excess green) proposto por Woebbecke et al. (1995) Equação (3). Posteriormente fez-se a confecção do layout dos mapas dos índices de vegetação (Vigreen, VEG e ExG), para melhor visualização e compreensão da cobertura da vegetação.

$$Vigreen = \frac{(G-R)}{(G+R)} \quad (1)$$

$$VEG = \frac{G}{R^a B^{1-a}} \quad (2)$$

$$ExG = 2G - R - B \quad (3)$$

onde,

R - valor de nível de cinza obtidas do espectro na região do vermelho, decimal.

G - valor de nível de cinza obtidas do espectro na região do verde, decimal;

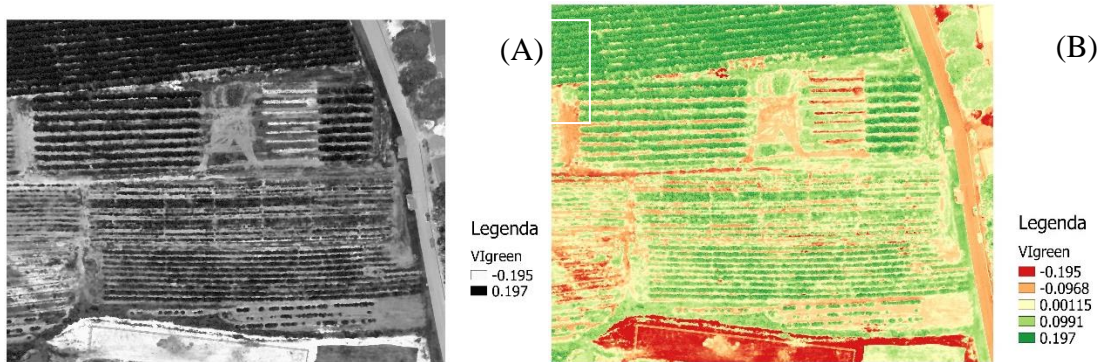
B - valor de nível de cinza obtidas do espectro na região do azul, decimal;

a - constante com valor de 0,667

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

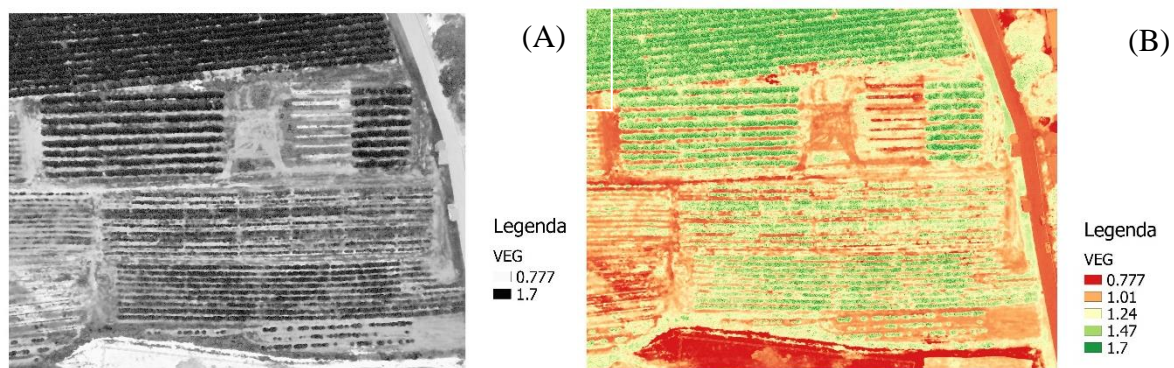
Na Figura 2 observa-se a composição de bandas artificiais do índice de vegetação VIGreen na cor monocromática Figura 2A e colorida Figura 2B. Este índice indica valores que variam de -0,195 a 0,197 para ambas as composições, onde menores valores fazem referência ao solo, asfalto e construção e valores maiores indicam vegetação tanto cultura de café quanto plantas daninhas e árvores. Segundo Linhares et al. (2017) em seus estudos concluíram que este índice tem alta correlação com NDVI. Valores de NDVI próximo de 0 (-0,1 a 0,2) representa solo exposto, nesta composição encontrou-se valores bem próximo de zero de -0,195 a 0,00115 para solo exposto.





**Figura 2. Representação dos índice de vegetação VIgreen: (A) monocromática e (B) colorido**

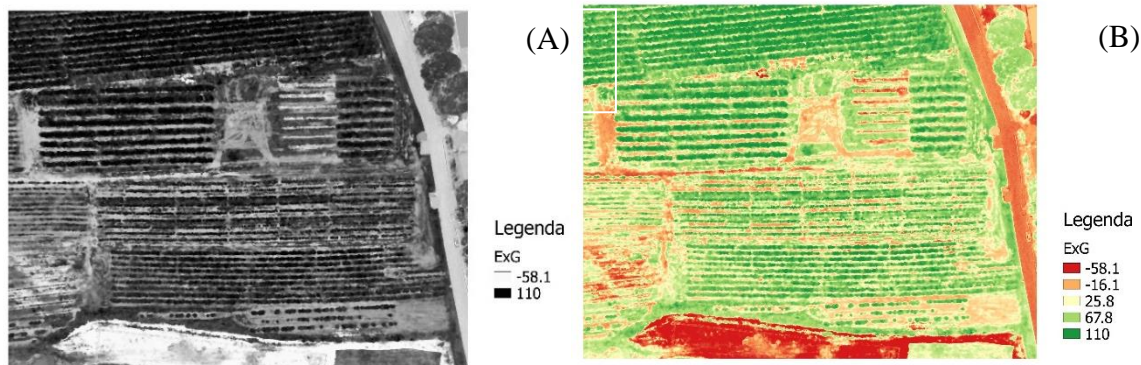
Na Figura 3 observa-se a composição de bandas artificiais do índices de vegetação VEG na cor monocromática Figura 3A e colorida Figura 3B. Este índice indica valores que variam de 0,777 a 1,7 no quais valores 0,77 até 1 fazem referência ao solo, asfalto e construção, a vegetação rala obteve coloração a partir de 1,24 e valores maiores indicam a vegetação mais densa como café, plantas daninhas e árvores. Hague et al. (2006) utilizaram este índice para realizar um mapeamento de trigo de plantas daninhas e obtiveram resultados consistentes. O IV VEG proporciona uma transformação que não varia com a iluminação diurna e com isso favorece de forma eficaz a identificação de componentes vegetativos em imagens RGB.



**Figura 3. Representação dos índice de vegetação VEG: (A) monocromática e (B) colorido**

Na Figura 4 os valores observados da composição de bandas artificiais do índice de vegetação ExG foram valores altos comparados com os outros devido à sua formula que ressalta cor verde, deixando a vegetação mais destacada Figura 4B. Neste índice os valores variaram de

-58,1 a 110 seguindo a mesma lógica no quais valores menores até próximo de 25 se referem ao solo, asfalto e construção realçando uma coloração bem avermelhada. Alvos na cor branca resultaram no valor 0, já a vegetação rala obteve coloração verde mas com valores em torno de 50 a 60 e os maiores valores indicam a vegetação mais densa como café, plantas daninhas e árvores.



**Figura 4. Representação dos índice de vegetação ExG: (A) monocromática e (B) colorido**

Comparando-se as imagens monocromáticas dos índices de vegetação Figura 2A, 3A e 4A, nota-se diferenças, na qual o IV que destacou a vegetação do solo foi o VEG. Isso está relacionado à sua vantagem de atribuir à um valor de  $a$  para o qual o índice se torna invariante à temperatura de um corpo negro iluminante (Hague et al., 2006). Assim a imagem monocromática da Figura 3A apresentou um melhor contraste entre o solo e a vegetação.

### CONCLUSÃO

Foi possível gerar os IV para mapeamento da cobertura vegetal. Os mapas temáticos das imagens processadas com os três IV estudados permitiram detectar e separar em diferentes classes a cobertura vegetal na região estudada. O IV que teve melhor contraste foi o VEG devido as suas características de não sofrer interferências da iluminação.

### AGRADECIMENTOS

A UFLA e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. A CAPES, FAPEMIG, CNPq e ao SESU/MEC/PET pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento dos estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Delegido, J., Verrelst, J., Meza, C. M., Rivera, J. P., Alonso, L., and Moreno, J. 2013. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 46, 42-52.

Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R. and Rundquista, D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ.*

Guerrero, J. M., Pajares, G., Montalvo, M., Romeo, J., and Guijarro, M. 2012. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 11149-11155.

Hague, T., Tillett, N. D. and Wheeler, H. 2006. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. *Precision Agriculture*, v. 7, n. 1, p. 21-32.

Linhares, M. M. A., Rocha, N. C. C. and Amaral, B. A. S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. In: *Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1190.pdf>>. Acesso em: mar. 2017.

Marchant, J.A. and Onyango C.M. 2002. Shadow-invariant classification for scenes illuminated by daylight. *J OptSoc Am A* 17(11):1952–1961

Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., De Castro, A. I., & López-Granados, F. 2014. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104-113.



Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., von Barga, K., and Mortensen, D. A. 1995. Shape features for identifying young weeds using image analysis. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, 38(1), 271–281.

## **APLICACIÓN DE UN SIG EN EL INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA EN CAMPOS EXPERIMENTALES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.**

**Gilberto de Jesús López Canteñs\*, Francisco Muñoz Gómez, J. Guadalupe Gaytán  
Ruelas, Eugenio Romantchik Kriuchkova, Bonifacio Gaona Pone, Juan Carlos Olguín  
Rojas**

\*Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.  
México. Telf. (52) 595 952 5556. Email. [alelopez10@hotmail.com](mailto:alelopez10@hotmail.com)

### **RESUMEN**

Para administrar la maquinaria agrícola y en particular, el mantenimiento de los tractores que apoyan las labores agrícolas en una parcela, es necesario conocer su ubicación geográfica, características técnicas y un diagnóstico que permita planificar y dar seguimiento a los servicios y reparaciones que se le realizan en cada momento. Debido a lo anterior, el objetivo de la presente investigación es elaborar y aplicar una metodología que permita con ayuda de GPS y Sistema de Información Geográfica realizar el inventario y diagnóstico técnico de los 50 tractores y 114 implementos agrícolas que se utilizan para trabajar las 372 ha de los campos experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo georreferenciado, para la planeación de su operación diaria y del mantenimiento. Para ello, se georeferenció y realizó un diagnóstico técnico a máquina cerrada, creándose posteriormente las bases de datos alfanuméricas que además del estado técnico incluye las cotizaciones y las fichas técnicas, que se integraron con información geográfica referente a infraestructura, topografía, parcelación, suelo, entre otras, en un sistema de información geográfica con fines de visualización, consulta y análisis, que servirá como base técnica para la toma de decisiones referente a la programación de operación, del mantenimiento y el remplazo del parque de maquinaria agrícola.

**Palabras clave:** GPS, Administración, Mantenimiento

## **APPLICATION OF A GIS IN THE INVENTORY AND TECHNICAL DIAGNOSIS OF THE AGRICULTURAL MACHINERY IN EXPERIMENTAL FIELDS OF THE CHAPINGO AUTONOMOUS UNIVERSITY.**

### **ABSTRACT**

To administer agricultural machinery and in particular, the maintenance of tractors that support agricultural work in a plot, it is necessary to know its geographical location, technical characteristics and a diagnosis that allows planning and monitoring of the services and repairs that are carried out in every moment. Due to the above, the objective of this research is to develop and apply a methodology that allows, with the help of the GPS and Geographic Information System, the inventory and technical diagnosis of the 50 tractors and 114 agricultural implements used to work the 372 hectares. of the experimental fields of the Chapingo Autonomous University georeferenced, for the planning of its daily operation and maintenance. For this, georeferenced and made a technical diagnosis closed machine, subsequently creating alphanumeric databases that in addition to technical status includes quotes and technical sheets, which were integrated with geographic information regarding infrastructure, topography, parcelling, soil, among others in a geographic information system for the purpose of viewing, consulting and analyzing the information that will serve as a technical basis for making decisions regarding the programming of operation, maintenance and replacement of the farm machinery park.

**Key words:** GPS, Administration, Maintenance

### **INTRODUCCIÓN**

En la Agricultura Moderna la mecanización está presente en las diferentes actividades que se realizan, desde la preparación del suelo hasta la cosecha, para la producción de un cultivo. Sin embargo, uno de los problemas fundamentales es su pronto deterioro y/o rotura de la

maquinaria agrícola por la falta de mantenimiento periódico y programado. El mantenimiento se ha vuelto esencial en las máquinas; por lo tanto, las áreas de mantenimiento exigen a una empresa gran parte de sus recursos económicos, convirtiéndose en un factor crítico en la ecuación de rentabilidad de muchas empresas. Por lo cual, cada vez más se reconoce la importancia de la administración de la maquinaria y de la programación del mantenimiento.

Para lograr lo anterior, se requiere contar con un diagnóstico técnico que permita conocer y valorar las condiciones técnicas de la maquinaria agrícola, sin desarmarlas para pronosticar los cambios futuros de sus parámetros, es decir si está preparada o defectuosa; que agregado o conjunto necesitan mantenimientos o reparaciones, que tiempo de vida les queda a cada uno de ellos, el consumo de combustible, la velocidad etc. (Mora, 2009; Urbina y Rivera, 1994).

Por otra parte, las empresas que tiene grandes extensiones de tierra o los distribuidores de maquinaria agrícola, otro de los problemas que enfrentan es la dispersión de las máquinas e implementos agrícolas, que hace difícil realizar una administración del mantenimiento eficiente y eficaz. En la actualidad, se han desarrollado herramientas para la adquisición y procesamiento de datos espaciales que unido a diagnósticos técnicos precisos servirán de ayuda para el control, análisis y toma de decisiones respecto a la programación del servicio de la maquinaria agrícola. Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo elaborar y aplicar una metodología que permita con ayuda de GPS y Sistema de Información Geográfica (SIG) realizar el inventario y diagnóstico técnico de los 50 tractores y 114 implementos agrícolas que se utilizan para trabajar las 372 ha de los campos experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) georreferenciado.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Caracterización del área de estudio**

Las parcelas experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo con una superficie de 372 ha, se encuentran localizadas en Chapingo, Texcoco, México; entre las coordenadas 510246, 2154288 metros y 513934, 2155764 metros. (Figura 1). Los suelos predominantes son de textura franco arcillosa hasta franco arenosa. Los campos experimentales agrícolas se

laboran de forma mecanizada, existiendo agricultura de temporal y con riego, sembrándose generalmente dos veces al año cultivos como el maíz y la avena.

### **Información necesaria para realizar la investigación.**

Para realizar el inventario y la ubicación de la maquinaria e implementos agrícolas, así como del suelo, se empleó la siguiente información:

*Información sobre planos:* Como base cartográfica se utilizó el mapa topográfico digital a escala 1:50 000 desarrollado por CONABIO (2017), que consta de las siguientes capas de información: límites, curvas de nivel, redes de comunicación, uso de suelo, corrientes y cuerpos de agua, pozos de explotación, terrenos sujetos a inundación, entre otras. También se incorporó como información básica el modelo raster de la región de estudio, utilizándose el software SAS.Planet. La información referente a las capas de información de suelo, maquinaria e implementos agrícolas, se identificaron como puntos con coordenadas X e Y medidas con un GPS Garmin 72H, con una configuración de localización WGS84 y formato UTM.



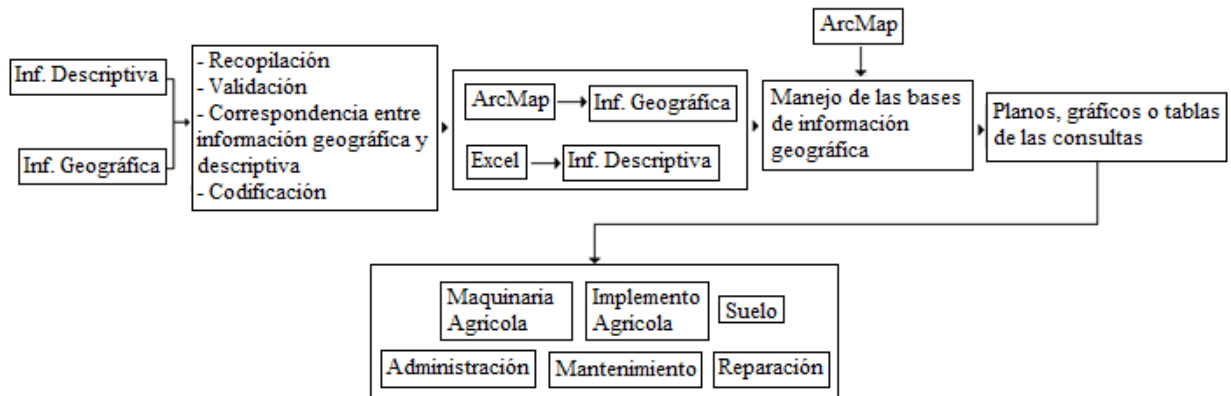
**Figura 1. Campos Agrícolas Experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo.**

*Información contenida en los cuestionarios:* Para el inventario y diagnóstico técnico de la maquinaria e implementos agrícolas se crearon nueve equipos de trabajo que visitaron cinco Campos Agrícolas Experimentales, mismos que realizaron la inspección a máquina cerrada y completaron los formularios sobre sus características y estado técnico. El formulario diseñado tiene 64 reactivos que incluyen los datos generales de la maquinaria y los apartados

siguientes: motor; sistema eléctrico; tablero de controles; sistema hidráulico, caja de cambio y toma de fuerza; dirección; chasis y carrocería; observaciones sobre los parámetros involucrados en la revisión. En el caso de los implementos agrícolas se consideró además de los datos generales, el desgaste y estado técnico de los diferentes componentes y sistemas que los componen. Además, se incluyó un análisis preliminar de costos de mantenimiento y/o reparación, así como evidencias del estado actual de la maquinaria agrícola y los catálogos de la maquinaria para contener información del fabricante que puede ser útil para la operación y administración de la actividad mencionada.

*Información sobre el suelo:* Se realizaron determinaciones en campo y/o laboratorio de las propiedades físico-mecánicas que influyen en la formación del agregado tractor – implemento y en la calidad de la labor agrícola realizada, las que se relacionan a continuación: Textura, humedad del suelo, densidad aparente, índice de cono, índice de corte de la veleta, así como la evidencia del estado de la parcela durante las mediciones correspondientes. En cada punto de muestreo georeferenciado se hicieron tres determinaciones hasta una profundidad de 45 cm. Los equipos utilizados en las mediciones fueron: barrena tipo edelman, equipo de anillos (diámetro 53 mm) para muestra inalterada, estufa, balanza digital, penetrómetro, veleta de corte.

*Implementación del SIG:* Primeramente, se diseñaron las bases de datos en el software Microsoft Excel, con la finalidad de facilitar el manejo, actualización y análisis de los datos del inventario y diagnóstico técnico. Posteriormente, se utilizó como plataforma tecnológica el ArcGIS definiendo el DATUM como WGS84 y el sistema de coordenadas como UTM Zona 14N. Finalmente, la información se organiza como capas de datos, en el que cada capa consta de un plano, y sus características descriptivas asociadas (diagnóstico, análisis de costo, evidencia fotográfica, ficha técnica), se cargaron los shape correspondientes a las capas vectoriales de referencia y la información raster del área de estudio. La secuencia metodológica seguida se muestra en la Figura 2 que finaliza con la salida de planos, así como de los resultados gráficos o tabulares de las consultas correspondientes. Esta secuencia toma como referencia la metodología propuesta por Alarcón (2007).



**Figura 2.** Secuencia metodológica en el desarrollo del SIG.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inventario y Diagnóstico Técnico

Para ejecutar el plan de mantenimiento preventivo, es necesario contar con el inventario actualizado que contemple los diferentes aspectos técnicos que describen la totalidad de la maquinaria y los implementos agrícolas, así como su ubicación física y usuario responsable.

Lo anterior permitirá contar con un historial de servicio por equipo para en lo posterior facilitar la identificación de fallas recurrentes y poder justificar adecuadamente el remplazo de partes o el incremento de capacidades operativas.

La finalidad de este mantenimiento es prevenir y minimizar la probabilidad de fallas, mediante el reemplazo o ajuste de aquellos elementos de mayor desgaste o uso de los equipos. Las rutinas de mantenimiento a realizar varían de acuerdo al tipo de equipos, mismos que aparecen en los manuales. En caso de encontrar un daño o desperfecto que amerite remplazo o compra de piezas y/o accesorios en la ejecución del mantenimiento será necesario realizar un mantenimiento correctivo.

A partir de los formularios aplicados se detectó que existen en los Campos Agrícolas Experimentales visitados un total de 50 tractores y 114 implementos agrícolas que requieren de un plan de mantenimiento y conservación. En algunos casos se requiere remplazo o

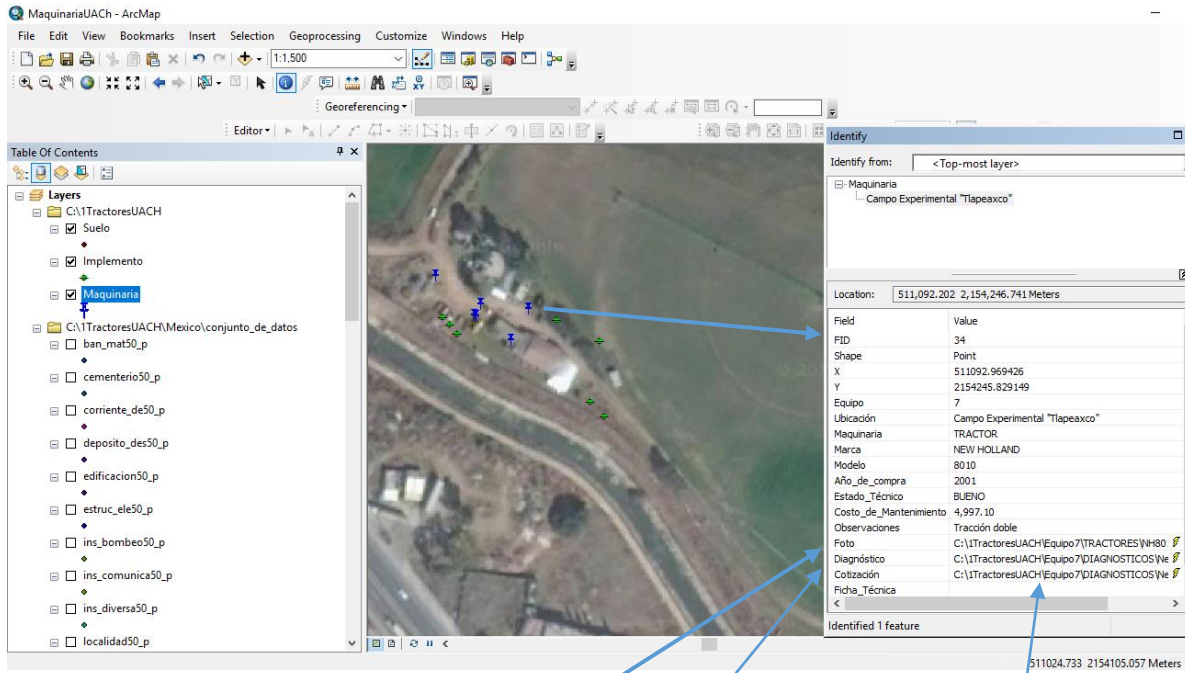
adquisición de piezas faltantes, información que se puede consultar en los formularios aplicados, anexados a los registros en las bases de datos.

### **Aplicación de los SIG**

El empleo de la base de datos diseñada ofrece muchas ventajas, como el ingreso fácil y organizado de los datos recolectados en los Talleres de Maquinaria Agrícola, así como la actualización, revisión, consulta y análisis de los registros. Las bases de datos con la información alfanumérica de suelo, maquinaria e implementos agrícola se integraron al SIG como capas puntuales. En la Figura 3 se muestran la capa de información de maquinaria agrícola correspondiente al tractor New Holland 8010 que se encuentra en el Campo Experimental “Tlapeaxco”.

Las capas de información tanto puntual, lineal como areal que forman esta aplicación SIG se pueden actualizar rápida y eficazmente, adicionando datos, equipos nuevos o dándole de baja según su estado técnico. Además, se pueden crear nuevos campos que requieran los usuarios para tomar decisiones respecto a la administración de la maquinaria y del mantenimiento.





Reporte de Diagnóstico Técnico. Tractores agrícolas

No. DE TRACTOR: 1	
LUGAR: Campo Agrícola Tlapeaxco, Texcoco Edo. De México.	
FECHA: 26 de junio de 2016	
NOMBRE DEL RESPONSABLE: Jaime Espinosa	
CARGO: Responsable de la maquinaria	
INSPECTOR(ES): Ing. Alexander Morales Vázquez, Ing. Iónico Olguin Bravo, Ing. José Isaac Adame Hernández, Ing. Luis Enrique Alvarado Ramírez.	
DATOS DE LA MÁQUINA	
MARCA: New Holland	AÑO: 2001
MODELO: 8010	No. SERIE: 802677M
HORAS DE TRABAJO: 4684	

12. /N Filtro de aire Secundario: Delphi, 82981142
13. S/N Filtro de combustible: Delphi 87840590
14. Reemplazo de aceite
15. Aceite multigrado 15W-40

P/N	Descripción	Cant.	Costo unit.	Costo total
82981152	Filtro de aire primario	1 pza.	40.32 USD	729.32
82981142	Filtro de aire secundario	1 pza.	33.00 USD	596.92
87840590	Filtro de combustible	1 pza.	32.50 USD	587.86
15W-40	Aceite multigrado para motor (Mobil)	19 l	77.00 MN	1463.00
	Mano de obra	3 horas	450.00 MN	1350.00
	Grasa lubricante	3 kg	90 MN	270.00
			TOTAL	4997.10

Cotización de mantenimiento preventivo del tractor NH 8010

**Figura 3. Capa de información de la maquinaria agrícola. Caso tractor New Holland 8010.**

Luego de procesada la información gráfica y alfanumérica en la base de datos espacial diseñada para el manejo de información sobre suelo, maquinaria e implementos agrícolas, ésta puede ser consultada y analizada. Algunas consultas a las bases de datos espaciales y descriptivas pueden estar relacionadas al estado técnico, costo de mantenimiento, año de compra, marca, modelo e inclusive formar agregados tractor- implemento considerando la disponibilidad en los Campos Experimentales. Además, se puede obtener estadísticas, realizar análisis y programar las actividades necesarias para la programación de la maquinaria y su mantenimiento, sin retrasar las labores agrícolas requeridas para la siembra, manejo y cosecha de un cultivo.

Por medio del SIG es posible elaborar mapas temáticos de prácticamente cualquier atributo que posean los equipos inventariados, de la combinación de los mismos, de las respuestas a los interrogantes planteados, o procesos que se hagan con los registros, entre otros.

La capacidad de análisis del SIG no quedará limitada a la información considerada en un principio, ya que, si algún tipo de información no existiera en el modelo y también se quisiera considerar, solo será necesario integrar los datos correspondientes al tema en cuestión y agregarlo al modelo actual como una capa más de información.

## CONCLUSIONES

Mediante el diagnóstico técnico realizado a los Talleres de Maquinaria Agrícola ubicado en los Campos Experimentales de la UACH, se cuenta con un inventario y con el estado de sus equipos, mismo que debe ser actualizado periódicamente.

El SIG para la maquinaria e implementos agrícolas se convierte en una herramienta que les permite a los tomadores de decisión tener acceso fácil y rápido a la información almacenada en él; permite realizar la programación de las actividades agrícolas y del mantenimiento requeridas; tener una visión general del equipamiento agrícola con que se cuenta y su relación con las labores que se realizan en los campos agrícolas existentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, C. (2007). Guía de un sistema de información geográfica, para ilustrar datos e información de un inventario forestal nacional. FAO, Roma. 67p.
- CONABIO. (2017). Portal de geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Página web: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> Consultada el 4 de diciembre de 2017.
- Mora, L. A. (2009). Mantenimiento: Planeación, ejecución y control. Grupo Editor Alfaomega. México. 504p.
- Urbina, A. y Rivera, A. (1994). Diagnóstico técnico en maquinaria agrícola. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola. UACH, México. 112p.

## **APLICACIÓN DE IDC (INTERNET DE LAS COSAS) PARA LA TOMA DE DECISIONES CONSIDERANDO LAS MEDICIONES DE LIXIVIADO Y CONDUCTIVIDAD**

**An IoT (Internet of Things) application for irrigation decision-making considering leachate and conductivity measurements**

**Arys Carrasquilla-Batista, Ingeniería Mecatrónica,  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, [acarrasquilla@itcr.ac.cr](mailto:acarrasquilla@itcr.ac.cr), Costa Rica**

**Alfonso Chacón-Rodríguez, Ingeniería Electrónica,  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, [alchacon@itcr.ac.cr](mailto:alchacon@itcr.ac.cr), Costa Rica**

**Milton Solórzano-Quintana, Ingeniería Agrícola,  
Instituto Tecnológico de Costa Rica, [msolorzano@itcr.ac.cr](mailto:msolorzano@itcr.ac.cr), Costa Rica**

### **RESUMEN**

En la actualidad, se ha demostrado que el cambio climático está afectando significativamente la disponibilidad del agua en todas las áreas relacionadas con actividades críticas para la vida humana, en los cultivos de productos hortícolas en ambientes protegidos este impacto debido a los requerimientos de agua y nutrientes tiene influencia en la calidad, cantidad y producción de cosechas. Específicamente en el proceso de fertirrigación, el agua y los nutrientes son suministrados a las plantas, es por ello que la toma de decisiones es esencial con el fin de establecer criterios bien fundamentados que tomen en consideración la disponibilidad del agua en el sustrato, esto se logra a través de la medición de drenaje y conductividad eléctrica (EC, por sus siglas en inglés). En la práctica, productores e investigadores miden diariamente y manualmente: cantidad de drenaje y EC del mismo lixiviado y toman decisiones por medio de términos lingüísticos tales como: agua fácilmente disponible, agua difícilmente disponible, baja conductividad, buena conductividad, entre otros. La programación de fertirriego puede mejorar la producción y calidad de las cosechas, reducir el desperdicio de agua y minimizar la acumulación de sales que afecta el crecimiento de las plantas. Dado todo lo anterior, un modelo de lógica difusa es propuesto para la toma de decisiones mediante la evaluación de los términos lingüísticos relacionados a la medición del drenaje y la EC. La incertidumbre léxica dada por la “disponibilidad de agua” y la “conductividad” es cuantificada por un valor numérico dado por un Modelo de Lógica Difusa (FLM, por sus

siglas en inglés). El resultado final es la implementación de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la incorporación de la programación del conocimiento humano en un FLM que permite tomar decisiones relacionadas con la fertirrigación en cultivos sin suelo en horticultura protegida.

**PALABRAS CLAVES:** Controlador para la toma de decisiones, Conductividad Eléctrica en lixiviados, Modelo de Lógica Difusa, Internet de las Cosas, Horticultura protegida, Water availability.

### ABSTRACT

Nowadays, it has been shown that climate change is significantly affecting the availability of water in all areas related to critical activities for human life, in greenhouse horticulture this negative impact, due to water and nutrient requirements, have influence in the quality, quantity and production of crops. Specifically in the fertigation process, water and nutrients are supplied to the crops, so that decision making is essential in order to establish well-founded criteria that consider the availability of water in the substrate, through the measurement of drainage and electrical conductivity (EC) of the same leachate. In practice, producers and researchers measure daily and manually: amount of drainage and EC of drainage and make decisions considering linguistic terms such as: water easily available, water difficult available, low conductivity, good conductivity, among others. The programming of the fertigation can improve the production and quality of the crops, reduce the waste of water and minimize the accumulation of salts that affects the growth of the plants. Given the above, a fuzzy logic model is proposed for decision making by evaluating the linguistic terms related to the measurement of drainage and EC. The lexical uncertainty given by the "water availability" and the "conductivity" is quantified by a numerical value within a Fuzzy Logic Model (FLM). As a result, an Internet of Things (IoT) application is implemented and the structural human knowledge about irrigation programming is incorporated into an analytical model of fuzzy logic, obtaining a decision-making tool on the programming of fertigation of soilless crops in protected horticulture.

**KEYWORDS:** Decision-making controller, Electrical conductivity in drainage, Fuzzy Logic Model, Internet of Things, Protected horticulture, Water availability.

## INTRODUCTION

Without water, there is no life, this assertion applies not only to human life but to crops growing in protected environments. All human life activities has been impacted by climate change effects and in (Carrasquilla-Batista, Chacon-Rodríguez, 2017) is presented, as first approach, an example considering a Fuzzy Logic Controller (FLC) where water is presented as the main input for greenhouse horticulture, agriculture and food production, because all of them are affected by the excess or deficit of rainfall, changes in temperature and other associated environmental variations, which may be particularly severe in fragile tropical ecosystems. These events may constitute serious threats to food security in low and medium income economies located in these regions, such as Costa Rica. Costa Rica's government has the commitment of becoming the first carbon neutral country by 2021, in this concern (Carrasquilla-Batista, et al., 2017) proposed the use of Internet of Things (IoT) as a technological platform that was implemented to capture and analyse data for decision-making regarding climate change effects and mitigation actions. Vegetable production in greenhouses represents a challenge for typical farmers because there the growing behaviour of most vegetable species is markedly different than at open air, and usual culturing practices must be modified accordingly. Thus, the multidisciplinary group in charge of this project has decided to integrate Internet of Things (IoT) into their scientific research in order to convert data into information, information in knowledge and this into wisdom to manage decision making at the right time for the producers. Another example of an IoT application for irrigation scheduling decision-making was presented by (Carrasquilla-Batista, et al., 2016), in this paper a drainage measuring system with high accuracy was proposed and implemented.

The designed system consists of hardware with commercial off the shelf (COTS) components and software running on the cloud. System's performance has been tested in a controlled greenhouse, where acquired data from environmental variables, substrate conditions and leachate collection are sent over the Internet to be processed using data fusion techniques and a fuzzy logic controller is implemented for irrigation decision-making. The main goal in the end is to provide scientifically tested alternative food production practices under the

prevailing changing environmental conditions of our planet, including new guidelines for water saving and management.

The rise of IoT, also referred by (Evans, 2011) as Internet of Everything (IoE), offer a viable and practical solution for the integration of multiple sensors. Such integration allows for the exploitation of the huge processing and storage capacities available in the Internet, where data from multiple remote sites can take advantage of complex data processing techniques, usually known as "multi-sensor data fusion", to provide researchers not only with massive long range data series analysis, but also with the possibilities of process prediction and estimation. To study the interaction between COTS and IoT, in (Carrasquilla-Batista, et al, 2015), there is a case study with some variables that are related to the kinetic growth of microalgae, specifically were measured: temperature, pH, light intensity and dissolved oxygen in a *Chlorella* microalgae culture.

Greenhouse horticulture cultivation reduces evapotranspiration (ET) to about 70% at open field, thus improving the water usage relative to unprotected environment cropping (Savva, 2002). In general, an irrigation system should be controlled in order to provide enough water to plants, taking transpiration close to its potential value. Substrate moisture content measurements are evaluated in order to make decisions about irrigation: a major emphasis is given in the specialized literature to the term: "water availability", which limits plant transpiration, meaning that the irrigation scheduling must replace the water lost by the plants' water uptake and evaporation from the root zone. On the other hand, a deficiency in water supply may improve the level of crop stress. Researchers and producers need to ensure that the crop stress, observed or measured, is due to a deficit of moisture at the root of the plant, and not because of a disease, a pest or exceptional atmospheric conditions, as indicated by (Jones, 2008). One of the major problems faced by agricultural scientists and producers, when dealing with decisions aimed at improved crops yield or water usage, is the blurred boundaries between such lexical criteria as established in the technical literature. Besides, many of the percentages used to determine water or fertilizer quantities are based on rules of thumb, which sometimes are derived from years of experience on particular crops on particular environments. This makes difficult not only to compare or test the performance of



any proposed method of irrigation or fertilization in heterogeneous environments, but also make cumbersome and error prone the tasks of monitoring and decision-making.

The two most important concepts within Fuzzy Logic (FL) are that of a linguistic variable and the fuzzy if-then rule. Linguistic variables allow the translation of natural language into logical, or numerical statements, which provide the tools for approximate reasoning. This means that, if measurement data is available, and a fuzzy model is correctly defined, incorporating the human language rules of the plant's water availability and its implications regarding irrigation, for a particular crop is straightforward. This work proposes a new way of including drainage collection data and EC in order to propose an irrigation fuzzy decision model that provides controlling scalar outputs, which may later serve as the basis of an expert system.

### **METHODS AND MATERIALS**

The drainage of a crop has two basic functions: not allowing salt accumulation in the substrate, taking away excessive accumulated nutrients; and re-establishing the nutrients' concentration in the substrate. The drainage can also be used to determine substrate humidity (SH) in hydroponic cultivation. Excess drainage implies losses of water and fertilizers that have a direct impact on the environment. With low levels of drainage, in a tropical ecosystem as Costa Rica's, there exists the risk of substrate salinization, and taking in consideration that plants absorb water at a major velocity than nutrients, this may cause excessive salt accumulation in the substrate. Researchers have to measure daily, preferably in the morning before programming irrigation system, quantity of drainage and EC of this leachate.

With these two values: drainage in millilitres and EC in mS/cm; the following step is to program irrigation system but then a question arises: is water easily available for the crops? Is EC low, good or high? Should the frequency of the irrigation system be low, medium, high or no irrigation at all? To formulate this reasoning some linguistic variables are given or utilized for decision-making. The sampling time of the system was fixed concerning the measurement of drainage, ambient temperature and relative humidity, EC and temperature



of the drainage, and light intensity inside the greenhouse. All measured data was saved with a time stamp and a file was created automatically for each day.

Table 1 summarizes the typical Fuzzy sets and Fuzzy rules definition for the problem of irrigation decision-making based on the linguistic concept of water availability and electrical conductivity. The ranges, given by linguistic variables, that have been determined produce optimal growth are also indicated.

Drainage (ml) Input	Electrical Conductivity (mS/cm) Input	Irrigation (ml) Output	Fuzzy Rules
Water Very Difficult Available (WVDA)	EC-High	No Irrigation	If Drainage is WVDA or EC-Low then Irrigation is High Irrigation
Water Difficult Available (WDA)	EC-Good	Low Irrigation	If Drainage is WDA and EC-Good then Irrigation is Medium Irrigation
Water Medium Difficult Available (WMDA)	EC-Low	Medium Irrigation	If Drainage is WMDA or EC-Good then Irrigation is Medium Irrigation
Water Easily Available (WEA)		High Irrigation	If Drainage is WEA and EC-Good then Irrigation is Low Irrigation
Water Very Easily Available (WVEA)			If Drainage is WVEA or EC-High then Irrigation No Irrigation

Table 1: Fuzzy sets and fuzzy rules definition for the problem of irrigation decision-making based on the linguistic concept of water availability and electrical conductivity.

## RESULTS AND DISCUSSION

Data acquired by the sensors was transferred via the developed prototype to a remote data base via GSM mobile communication board (SIM900). This database is located in the Internet cloud, which provides instant access to researchers. Currently, data can be visualized directly in ThingSpeak IoT platform. Access is available via any web browser, extra features such as graphical visualization, in-the-cloud-post-processing, growth prediction and

estimation results, can be developed. This should complete the whole integration of the system as an IoT full application. A diagrammatic representation of the whole implemented system is shown in Figure 1. Linguistic fuzzy sets are sent to the Fuzzy Logic Controller and a scalar value is given as output.

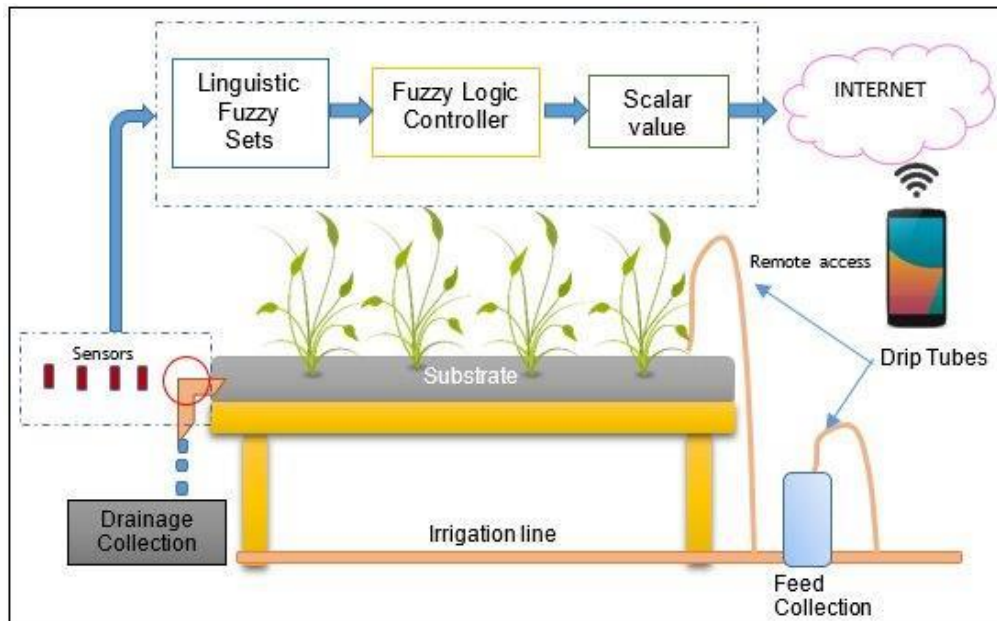


Fig. 1: Schematic representation of a typical greenhouse horticulture vegetable production. Usual points of drainage collection and irrigation are shown. The place where the proposed fuzzy controller is to be located is also shown. [1]

### CONCLUSIONS AND FUTURE PERSPECTIVE

A multivariable variable measurement prototype system with IoT capabilities, built with COTS components, has been developed and tested. Multiple variables associated to greenhouse horticulture kinetic growth were captured and sent to a remote database that was connected to the “Cloud”. Measured values can be visualized remotely from any computer or smart device, with the possibility of accessing data through the Internet, where researchers can perform various data analysis online.

A Fuzzy Logic Controller (FLC) for decision making about irrigation scheduling, was tested and simulated in a software environment. The system was tested in a real greenhouse with vegetables crops. The FLC is to run in the cloud, thus taking full advantage of the IoT

processing, storage and remote access capabilities nowadays available. The developed system can be used for many other applications, such as: microalgae culture, forests and open air plantation monitoring, and even electrical smart grid monitoring. Only the sensors need be replaced for the intended application, and the data processing capabilities of the cloud can be used even for more specific applications, such as remote control and intelligent decision platforms.

An affordable solution was thus implemented, which provides an integrated multivariable measurement environment, using commercial-off-the shelf (COTS) and taking advantage of the ubiquitous computing capabilities available today to run a Fuzzy Logic Controller, in what is generally known as Internet of Things

## REFERENCES

- [1] Carrasquilla-Batista, A., Chacon-Rodriguez, A., "Proposal of a fuzzy logic controller for the improvement of irrigation scheduling decision-making in greenhouse horticulture," 2017 1st Conference on PhD Research in Microelectronics and Electronics Latin America (PRIME-LA), Bariloche, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/PRIME-LA.2017.7899172
- [2] Carrasquilla-Batista, A., Chacón-Rodriguez, A., Solórzano-Quintana, M., and Guerrero-Barrantes, M., "IoT applications: On the path of Costa Rica's commitment to becoming carbon-neutral," 2017 International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC), Funchal, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/IoTGC.2017.8008975
- [3] Carrasquilla-Batista, A., Chacón-Rodríguez, A., and Solórzano-Quintana M., "Using IoT resources to enhance the accuracy of overdrain measurements in greenhouse horticulture," 2016 IEEE 36th Central American and Panama Convention (CONCAPAN XXXVI), San Jose, 2016, pp. 1-5. doi: 10.1109/CONCAPAN.2016.7942345
- [4] Evans, D., (2011). Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. White paper Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).
- [5] Carrasquilla-Batista, A., Chacon-Rodriguez, A., Integrated processing and control of multiple environmental variables through internet of things (IoT) using COTS components, IAC-15-B5.1.6, 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, Israel, 2015, 12 – 16 October.
- [6] Savva, A. P., Frenken, K. "Crop water requirements and irrigation scheduling".p. 132. Harare: FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa, 2002.
- [7] Jones, H.G." Irrigation scheduling - comparison of soil, plant and atmosphere monitoring approaches". Acta Hort. 792, pp. 391-403, 2008.

## ESTRATEGIA DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA PARA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

JAIRO J. SANTANA MEDINA <sup>1</sup>

JESUS HERNAN CAMACHO <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrícola, Profesional de apoyo a la investigación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Bogotá, Colombia. Teléfono: (0057 +) 315 928 3225, [jsantana@corpoica.org.co](mailto:jsantana@corpoica.org.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Agrícola, Msc. Engenharia Agrícola, Phd. Ciencias agropecuarias. Director del programa de ingeniería agrícola y civil, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Teléfono (57 1) 3165000 Ext. 16603 [jhcamachot@unal.edu.co](mailto:jhcamachot@unal.edu.co)

**RESUMEN:** La presente ponencia tiene como objetivo compartir una propuesta de gestión de conocimiento en mecanización agrícola, como alternativa para la transferencia de tecnología y soporte al servicio de asistencia técnica agropecuaria. La propuesta consiste en el diseño del módulo «Innovación en la Mecanización», alojado en la plataforma del sistema de información de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario - Siembra, la cual se concibe como una interfaz gráfica y comunicativa donde los asistentes técnicos agropecuarios, extensionistas, productores, académicos e investigadores pueden encontrar información relacionada con resultados de investigación sobre prototipos, modelos y diseños agrícolas para el sector agropecuario y forestal. El módulo refleja la identificación y caracterización de innovaciones tecnológicas, generados por entidades de ciencia y tecnología asociadas al Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial – SNCTA en Colombia. Según el estudio, las innovaciones son catalogadas en las tipologías: maquinaria, equipos, herramientas, instrumentos e instalaciones agropecuarias. El soporte en herramientas de tecnologías de la información y comunicación – Tic, permite tener una estructura de visualización clara, concisa y factible para ser adoptada por el público, convirtiéndose en una estrategia de transferencia de tecnología y soporte al asistente técnico agropecuario.

**PALABRAS CLAVE:** Innovación, Interfaz gráfica, Siembra

### **INTRODUCCIÓN:**

La tecnología en el sector agropecuario ha avanzado más rápido en los últimos años, obteniendo incremento en producción a menor costo y mayor eficiencia. De igual forma, la generación de materiales vegetales modificados genéticamente, que generaron un mayor rendimiento en menor espacio de suelo, nuevas prácticas de cultivos, optimización de recursos, eficiencia en producción e innovación en maquinaria agrícola. Este tipo de tecnología va girando alrededor de varias necesidades que se ha considerado en el tiempo, como: la eficiencia y eficacia de los procesos, la obtención de mayor producción, disminución de tiempo, calidad de producto, disminución de riesgos ocasionados por inseguridad industrial, mejores herramientas en bajo enfoque ergonómico, entre otros aspectos. Por ello, los proyectos e iniciativas han generado un incremento significativo en la investigación a suplir estas necesidades originadas por universidades y centros de investigación; no obstante - no son los únicos actores. En Colombia, se cuenta con el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustria - SNCTA, el cual es conformado por entidades del sector agropecuario que desarrollan procesos de investigación, formación y transferencia de tecnología. Los diferentes actores como entidades de ciencia y tecnología: Centros de desarrollo, grupos de investigación asociados al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias y centros de investigación, entidades de capacitación: Universidades, el Servicio Nacional de Aprendizaje - Sena y corporaciones educativas; entre otros; cuyo enfoque es generar resultados de investigación de acuerdo a las demandas del sector agropecuario, identificando la ausencia de tecnologías y supliéndolas con el proceso de diseño, modelamiento y construcción de maquinaria, equipos, herramientas, instrumentos e instalaciones; con el fin de optimizar los procesos productivos y tecnificar el sector agropecuario.

### **MATERIALES Y MÉTODOS:**

Para el desarrollo de este estudio fueron realizadas las siguientes etapas:

### *Identificación y caracterización de la innovación*

Para el desarrollo de esta fase, se consideró el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial – SNCTA.

Por medio de la ley 607 de 2000, capítulo III, artículo primero, acápite d), se crea SNCTA, el cual tiene como objetivo general, aportar al sector agroindustrial conocimientos, métodos, tecnologías y productos tecnológicos necesarios para su desempeño, frente a los requerimientos del entorno nacional e internacional. Para ello se consideró las entidades de capacitación y las entidades de ciencia y tecnología del SNCTA, como lo son Grupos de investigación vinculados al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, Centros de investigación y desarrollo tecnológico, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, Universidades, Servicio Nacional de Aprendizaje - Sena y corporaciones de capacitación, entre otros. En ese sentido, se plantearon las siguientes estrategias:

- a) Sesiones de trabajo presencial y virtual con los actores del SNCTA, así como el acceso a la base de datos de resultados de investigación suministrado por Colciencias.
- b) Asistencia a eventos de divulgación científica (congresos, ponencias, presentación de proyectos, ferias, entre otros)
- c) Revisión de información secundaria en proyectos de tesis y publicaciones (libros, cartillas, artículos científicos, tesis de doctorado, maestría y pregrado, entre otros),

Los criterios considerados para la consolidación de las innovaciones fueron: tiempo de diseño (menor a 15 años), tecnología vigente, disponibilidad de acceso a información complementaria y ser resultado de investigación de los actores del SNCTA.

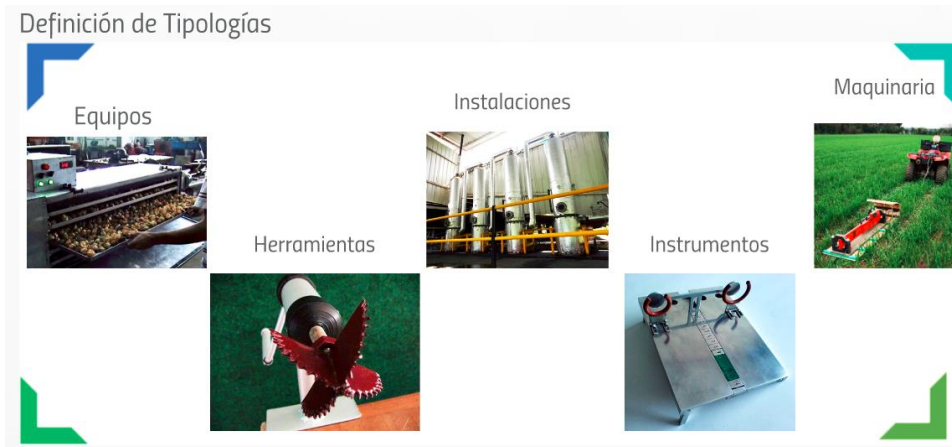


Figura 1. Tipologías utilizadas para la clasificación de las innovaciones fueron:

### ***Flujo de información***

Para desarrollar esta fase, fue necesario el establecimiento de convenios marco o específico con algunas instituciones, de manera que la información fuera proporcionada. Además, fue necesario la revisión de solicitudes de patente o modelo de utilidad con el objeto de no afectar la propiedad intelectual de las innovaciones en desarrollo de estos procesos.

Para el flujo de información fue utilizado un instrumento de captura que consideró los siguientes elementos básicos como Nombre, descripción General, especificaciones técnicas, ventajas desventajas condiciones y formas de uso, calibración y mantenimiento general, publicaciones que dieron origen a la información, datos de contacto, imágenes, fotografías y videos.

A partir de la información obtenida en el instrumento de captura, fue realizada la consolidación de los datos, revisión de estilo y construcción de las fichas técnicas que alimentarán el módulo.

### ***Desarrollo de software y publicación de la información***



El módulo se desarrolló e implemento considerando la aplicación web alojada en la plataforma del sistema de información de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario – Siembra.

Realizar la integración, configuración, documentación y puesta marcha de los componentes y módulos desarrollados en la plataforma Siembra, de acuerdo a los protocolos de aplicación de desarrollo externo por indicaciones del Departamento de Tecnologías de Información (DTI)

Realizar las capacitaciones necesarias a los usuarios en el manejo de las aplicaciones desarrolladas.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***Identificación y caracterización de la innovación:***

Estrategias de identificación:

- a) Según Colciencias, los grupos registrados entre el 2014 al 2016 fueron 1,132, clasificados en las siguientes categorías:



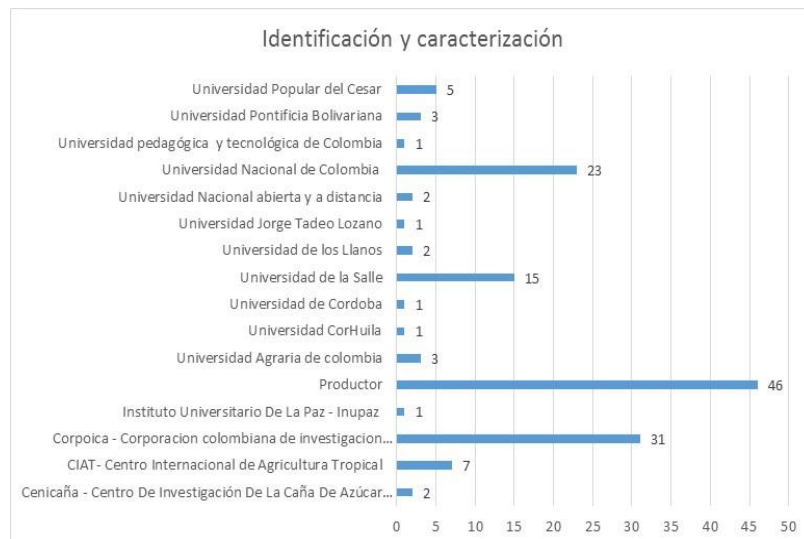
Tabla I: Numero de grupos de investigación asociados al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias

Áreas	Total
Ciencias Agrícolas	248
Ciencias Médicas y de la Salud	60
Ciencias Naturales	428
Ciencias Sociales	111
Humanidades	47
Ingeniería y Tecnología	238
Total, general	1132

- a) Las áreas de ciencias agrícolas, ingeniería y tecnología, son los grupos de interés para la fase de identificación. Al revisar los datos de contacto, se enviaron 476 invitaciones por correo electrónico a los líderes, solicitando el espacio para la identificación y caracterización de las innovaciones.

En cooperación con el Departamento de Articulación Institucional y Departamento de Transferencia de Tecnología y Soporte Asistencia Técnica Agropecuaria de Corpoica, se obtiene la base de datos de los resultados de investigación de los grupos asociados a Colciencias. De esta manera, se identifican las innovaciones de manera puntual y específica por cada grupo y se solicita la sesión de trabajo, teniendo en cuenta la innovación. En contraste con la estrategia a) donde se consultaba a los líderes de los grupos de investigación, si tenían alguna innovación como resultado para la identificación.

- b) Se asistió a presentaciones de proyectos en la Universidad de la Salle, Universidad Nacional de Colombia y Escuela de Ingenieros Julio Garavito. En las ferias agroindustriales en las ciudades de Bogotá y de Medellín, entre el 2015 y 2016.
- c) Por medio de solicitud expresa a la Biblioteca Agropecuaria de Colombia - BAC, la revisión de información secundaria en proyectos de tesis y publicaciones (libros, cartillas, artículos científicos, tesis de doctorado, maestría y pregrado), suministro información de referencias en la identificación de posibles innovaciones. Se realizó, teniendo en cuenta los criterios para la búsqueda de información y usando ecuaciones parametrizadas.



**Figura 2:** Identificación de innovaciones tecnológicas (maquinaria, equipos, herramientas, instalaciones e instrumentos) relacionada con los actores del Sistema Nacional de Ciencia y tecnología Agroindustrial –SNCTA

De acuerdo a las estrategias de búsqueda planteadas, los resultados del estudio, se identificaron 144 innovaciones. De las cuales 46 de ellas son de productores, 31 de Corpoica, seguido por la Universidad Nacional de Colombia con 23, Universidad de la Salle con 15, Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT con 7, Universidad Popular del Cesar

con 5, entre otros (Figura 2). Se visitaron 13 ciudades entre 2014 y 2016. La mayor concentración de innovaciones se encuentra en la ciudad de Bogotá, a causa de institucionalidad que hace parte de la capital, está cuenta con 68 innovaciones, seguido por Montería con 24, entre otras ciudades.

Según el análisis de la información, el 35.4% (51) son equipos, 34,0% (49) son maquinaria, 18,8% (27) herramientas, 9,8% (14) instalaciones y 2% (3) son instrumentos de acuerdo a la Figura 3.

Una de los aspectos de mayor importancia, es el asocio a las especies o sistemas productivos. Es decir, cada maquinaria, equipo, herramienta, instalación e instrumento, está enfocado a suplir una labor o proceso específico a lo largo del sistema productivo, ya sea establecimiento del cultivo como: preparación de suelos, siembra; cosecha, o algunos de los procesos de postcosecha, transformación o agroindustria. En ese sentido, la información de los resultados muestra los sistemas productivos asociados a las innovaciones se puede individualizar o agrupar yuca, caña para la producción de panela, pitaya, uchuva, cebollín, apicultura, arroz, achira, cítricos entre otros.

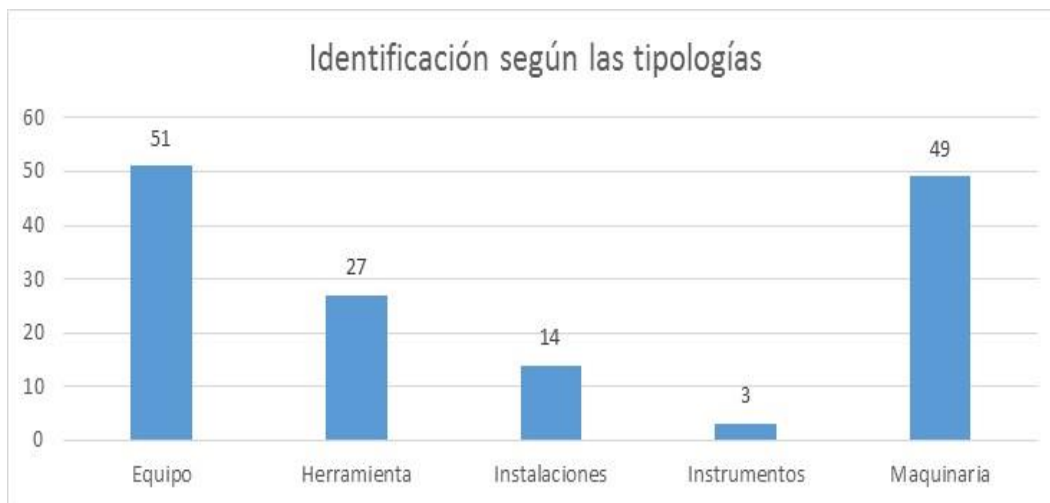


Figura 3: Identificación de innovaciones tecnológicas

A pesar de que hay un enfoque que relaciona innovación cultivo se resalta que la concentración de innovaciones, en un grupo denominado *transversal*. En sí, una innovación puede aplicar para varios productos. Como el caso de silos de almacenamiento (maíz, soya, cereales en general); o por ejemplo el sensor Veris es un implemento que se adapta a los tres puntos de acople del tractor y registra la conductividad eléctrica del suelo, principalmente se usa para el cultivo de arroz, pero es usando en maíz, soya, caña de azúcar, algodón y algunos cereales.

### ***Flujo de información***

Para desarrollar esta fase, se identificaron 8 innovaciones, en la revisión de solicitudes de patente o modelo de utilidad; con el objeto de no afectar la propiedad intelectual de las innovaciones se estima que una vez se otorgue la patente o modelo de utilidad, inicie el flujo de información para consolidación de información.

De esta manera, los resultados con el instrumento de captura nos entregan 51 innovaciones con información completa para la construcción de fichas técnicas, 15 con información parcial y 78 no registra información (Considerando las innovaciones en proceso de patente o modelo de utilidad y los convenios sin formalización.).

### ***Desarrollo de software y publicación de la información***

Una vez se consolida la información, se procede el desarrollo web, bajo la orientación del Departamento de Tecnologías de la Información – DTI, a continuación, se relaciona cada uno de los ítems para la construcción del módulo:

- **Interface web en visual Studio.net.**

El componente definido es Gestión de la Innovación por ende se procede a construir la interfaz gráfica al interior del módulo, como insumo de la estructura de visualización del componente se usan los arboles ontológicos. En el “Home” del módulo, se encontrarán las instrucciones de navegación. Se diseñaron tres menús desplegables: el primero al costado izquierdo, esté navega la estructura del sistema productivo de acuerdo a los arboles ontológicos. El segundo, en la parte superior del “home”, tendrá la opción de búsqueda de

especie o sistemas productivos. Por último, en la parte superior derecha del home, donde se seleccionará la tipología (Figura 4).

Una vez seleccionadas las opciones en los tres menús, en el “Home” se desplegará el listado innovaciones, en forma de cuadrilla con imágenes representativas, seguida por el título o nombre y un resumen de la innovación.

- **Bases de datos en SQL Server 2008 R2**

La instalación y publicación del nuevo módulo se divide en la actualización de la base de datos (scripts) y posterior integración del módulo a la solución completa y publicación de reportes.

Ejecutar los scripts– ruta DB\Tablas, vistas, procedimientos almacenados, en el orden que se listan, éstos se pueden ejecutar por medio de SQL Command o SQL Management Studio en la base de datos NetSiembra del servidor de desarrollo.



Figura 4: Interfaz gráfica del módulo, página “Home” e instrucciones de navegación.

## CONCLUSIONES

- *Innovación en la Mecanización* es una estrategia de transferencia de tecnología, dedicando sus esfuerzos a transmitir los conocimientos de manera efectiva, pretendiendo generar cambio técnico en el sector agropecuario.
- La falta de articulación entre la institucionalidad del sector agropecuario, dificulta el acceso a la información para su difusión y divulgación para ser adaptada por el público interesado
- El relacionamiento formal a partir de convenios es agotador. La experiencia está mostrando que cuando se consigue mejor confianza entre las organizaciones el intercambio de información por vías no formales se hace más dinámico.
- Se requiere mejora el acceso al flujo de información secundario para la construcción y publicación de las fichas técnicas, este se debe optimizar en tiempo y articulación con los actores del SNCTA.
- Es necesario implementar a corto plazo un sistema de seguimiento y evaluación de impacto de adopción de tecnología usando la información suministrada en el módulo a los asistentes técnicos y productores

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**COLOMBIA.** Ley No 607 de 3 de agosto de 2000. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural.

## **SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM DE UMA LAVOURA CAFEIEIRA OBTIDA POR CÂMERA CONVENCIONAL A BORDO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA**

**Luana Mendes Gonçalves (UFLA, [luanna\\_mendess@yahoo.com.br](mailto:luanna_mendess@yahoo.com.br), +55 12 991028298, Brasil)**

**Gabriel Araújo e Silva Ferraz (Universidade Federal de Lavras-UFLA, [gabriel.ferraz@deg.ufla.br](mailto:gabriel.ferraz@deg.ufla.br), +55 35 3829-4566, Brasil)**

**Daniel Andrade Maciel (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, [damaciel\\_maciel@hotmail.com](mailto:damaciel_maciel@hotmail.com), Brasil)**

**Brenon Diennevan Souza Barbosa (UFLA, [b.diennevan@outlook.com](mailto:b.diennevan@outlook.com), Brasil)**

**Diogo Tubertini Maciel (UFLA, [diogo.maciel@deg.ufla.br](mailto:diogo.maciel@deg.ufla.br), Brasil)**

### **RESUMO**

Imagens com alta resolução espacial e temporal obtidas por meio de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) estão surgindo como ferramentas para obtenção de dados facilitando o monitoramento e aplicação da agricultura de precisão em culturas. Com esta nova ferramenta pode-se obter perspectivas aéreas com câmeras e sensores de baixo custo em relação às imagens de satélites e à aerofotogrametria. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo utilizar uma RPA para obtenção de imagem na região do visível (RGB) e realizar segmentação e classificação desta imagem. O experimento foi realizado em uma área de café da Agência de Inovação do Café – INOVACAFÉ na Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras, Minas Gerais, Brasil. A imagem foi obtida no dia 21 de fevereiro de 2017 utilizando uma RPA de asa rotativa (quadricóptero), de voo autônomo, contendo câmera RGB (faixa do visível), com altura de voo de 75 m. O processamento da imagem para segmentação e classificação foi realizado em um software utilizando método GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis), posteriormente exportou a imagem para um software de geoprocessamento para prosseguir com as análises. Foi possível segmentar, classificar, posteriormente georreferenciar e quantificar as áreas classificadas (Cultura e Solo/Planta daninha). Com a classificação pode-se quantificar as áreas, resultando em 43,24% da área com lavoura cafeeira e 56,76% de solo exposto e planta daninha. Com isso,

a utilização desta tecnologia para monitoramento (falhas na linha de plantio, desenvolvimento) e quantificação das áreas (cultura e solo/plantas daninhas) podem ser úteis na gestão e manejo de cultivos agrícolas.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Agricultura de Precisão, Drone, GEOBIA, Sensoriamento Remoto.

## **ABSTRACT**

High spatial and temporal resolution images obtained by means of Remotely Piloted Aircraft (RPA) are emerging as tools for obtaining data facilitating the monitoring and application of precision agriculture in crops. With this new tool one can obtain aerial perspectives with cameras and sensors of low cost in relation to the satellites images and the aerophotogrametria. In this sense, this work aimed to use a RPA to obtain image in the region of the visible (RGB) and to carry out segmentation and classification of this image. The experiment was carried out in a coffee area of the Coffee Innovation Agency - INOVACAFÉ at the Federal University of Lavras - UFLA, in Lavras, Minas Gerais, Brazil. The image was obtained on February 21, 2017 using a rotating wing (quadricopter), autonomous flight RPA, containing RGB camera (band of the visible), with flight height of 75 m. The image processing for segmentation and classification was performed in a software using GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis) method, later exported the image to a geoprocessing software to proceed with the analyzes. It was possible to segment, classify, then georeferencing and quantify the classified areas (Culture and Soil / weed). With the classification we can quantify the areas, resulting in 43.24% of the area with coffee plantations and 56.76% of exposed soil and weed. Therefore, the use of this technology for monitoring (planting line failures, development) and quantification of the areas (crop and soil / weed) can be useful in the management of agricultural crops.



## KEYWORDS

Precision Agriculture, Drone, GEOBIA, Remote Sensing.

## INTRODUÇÃO

Monitoramento de culturas, acompanhamento do crescimento, visualização de falhas de plantio, são algumas informações tangíveis que podem ser extraídas de dados de sensoriamento remoto. As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) estão surgindo como ferramenta para obter estes dados com alta resolução espacial (em centímetros), temporal (diariamente) quando comparado com satélites.

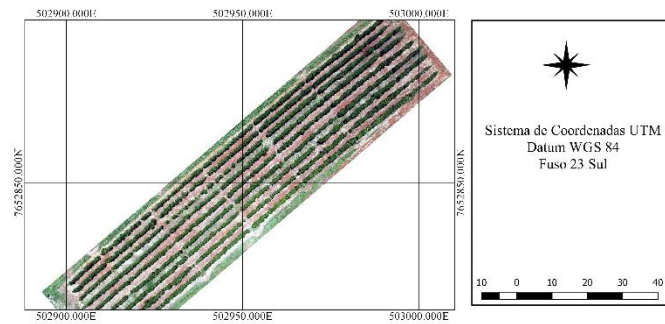
A classificação de imagens de alta resolução tem a capacidade de extrair informações automaticamente, favorecendo a análise de objetos de interesse (Mo et al., 2007). Para melhor classificar uma imagem utilizam a segmentação da imagem, que consiste em gerar regiões ou

segmentos homogêneos em uma ou mais dimensões (Blaschke, 2010).

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo utilizar uma RPA para obtenção de imagem na região do visível (RGB) e realizar segmentação e classificação desta imagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de café da Agência de Inovação do Café – INOVACAFÉ na Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras, Minas Gerais, Brasil. A lavoura de cafeeiros está implantada desde o final do ano de 2008 com a cultivar Travessia no espaçamento de 2,60 x 0,60 m Figura 1.



**Figura 1. Lavoura cafeeira georreferenciada situada em Lavras, Minas Gerais, Brasil**

A imagem foi obtida no dia 21 de fevereiro de 2017 à uma altura de voo de 75 m de altitude em relação ao solo utilizando uma RPA com plataforma de asa rotativa com quatro hélices (quadricoptero), voo autônomo, com autonomia de até 23 minutos e gimbal para estabilização da câmera durante a obtenção das fotos. Esta RPA possui Sistema de Posicionamento Global (GPS) integrado cujo controle é realizado por meio de um controle remoto.

A RPA possui uma câmera digital acoplada em sua estrutura da marca Sony, modelo EXMOR 1/ 2.3”, com resolução de 12 megapixels em cores verdadeiras RGB (Red 630-685µm, Green 520-590µm, Blue 440-510µm), e resolução radiométrica de 8 bits, lente 20 mm com abertura de f/2.8, com tamanho máximo de imagem de 4000 x 3000 pixels. As imagens capturadas foram armazenadas em um Cartão SD, e posteriormente exportada à softwares para realizar o processamento.

Para o processamento da imagem utilizou-se um software de análise de imagem baseado em objetos para realizar a segmentação e posteriormente a classificação e para análise desta imagem foi exportado em formato vetorial para um software de geoprocessamento. Na segmentação da imagem utilizou-se o algoritmo Multiresolution Segmentation, depois aplicou-se uma nova segmentação sobre a segmentação já executada na tentativa de aprimorar os segmentos para a classificação, para isso utilizou-se o algoritmo Spectral Difference Segmentation e conclui a classificação com o algoritmo classification, separando a área cultivada com cafeeiros das áreas que não continham plantas de cafeeiros apartir de coleta de amostras na imagem.

A imagem foi exportada no formato de arquivo shapefile para software de geoprocessamento, realizou-se o georreferenciamento e assim pode-se quantificar a área de cafeeiros e a área de solo exposto e de plantas daninhas juntamente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O algoritmo Multiresolution Segmentation considera cada pixel como um objeto, a segmentação mescla pares de objetos e forma segmentos que tenham similaridade e homogeneidade entre estes objetos adjacentes. Este processo termina quando o aumento do

segmento ultrapassa o Parâmetro de Escala (Scale parameter- SP) estabelecido no critério, no caso foi utilizado um SP de 60, vale ressaltar que quanto maior o SP maiores os segmentos e o contrário também é válido. Este critério de homogeneidade resulta de uma combinação de cor que está associado ao valores espectrais e forma que se divide em suavidade e compacidade (Darwish et al., 2003). No caso em estudo foi definido os valores de parâmetros para forma (shape) de 0.3 e compacidade (Compactness) de 0.8.

Na Figura 2 observa-se a segmentação realizada, na qual uniu-se os segmentos similares através do valor médio da resposta espectral da imagem. Observa-se que a plantas daninhas uniram-se com o solo exposto. Assim, optou-se por este resultado pois se o SP fosse diminuído, os segmentos ficariam menores separando plantas daninhas de solo exposto, entretanto devido a resposta espectral das plantas daninhas serem em média muito próximo da resposta espectral dos cafeeiros, o algoritmo classification classificaria planta daninha junto com cafeeiro resultando numa classificação equivocada. Segundo Marujo (2013), avaliando métodos de segmentação de imagens aplicadas na classificação da cafeicultura concluiu que o algoritmo multiresolution Segmentation foi o melhor para classificação de áreas cafeeiras apresentando um ótimo enquadramento das classes nos segmentos.



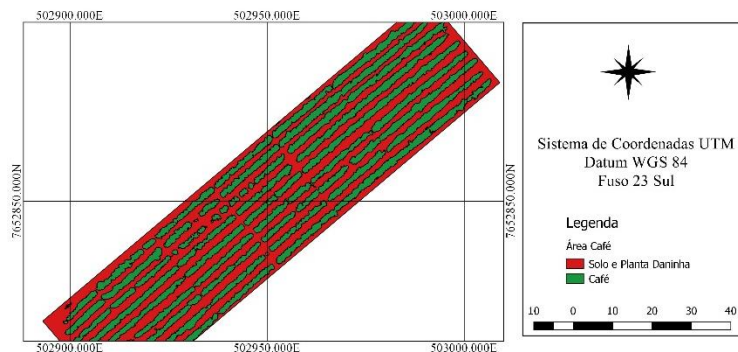
**Figura 2. Imagem da área cafeeira segmentada com o algoritmo Multiresolution Segmentation**

Na Figura 3 observa-se o resultado do algoritmo Spectral Difference Segmentation que teve por objetivo mesclar os segmentos a partir da diferença espectral definida como parâmetro, no caso de 20. Este algoritmo facilita a classificação da imagem, pois os objetos similares estarão mesclados formando segmentos maiores.



**Figura 3. Imagem Segmentada com o algoritmo Spectral Difference Segmentation**

Na Figura 4 observa-se o resultado da classificação, na qual a área representada em vermelho são as áreas compostas por solo exposto e plantas daninhas totalizando uma área de 1571 m<sup>2</sup> e a área em verde representa os cafeeiros totalizando 2070 m<sup>2</sup>, com a classificação pode-se quantificar as áreas, resultando em 43,24% da área com lavoura cafeeira e 56,76% de solo exposto e planta daninha.



**Figura 4. Imagem classificada da área de cafeeiros e área de solo exposto/Planta Daninha**

A classificação permitiu observar que existem linhas de plantio na lavoura cafeeira com falhas. Na região nordeste da imagem as linhas estão mais desenvolvidas e com um crescimento mais uniforme, isso se deve ao tratamento diferenciado que cada parcela recebe nesta área experimental, assim com as informações de campo pode comparar com a imagem da RPA e obter informações do desenvolvimento da cultura de forma mais acessível. Já na região sudoeste as plantas estão mais delgadas e não tão uniformes quanto o na região nordeste.

## CONCLUSÃO

Foi possível segmentar e classificar a imagem obtida por RPA. Com o mapa temático da classificação da área permitiu detectar algumas falhas e desuniformidade na lavoura de forma visual.

## AGRADECIMENTOS

A UFPA e ao PPGEA pelo apoio às pesquisas. A CAPES, FAPEMIG, CNPq e ao SESU/MEC/PET pelo auxílio financeiro dos bolsistas envolvidos nos estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blaschke, T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 65(1), 2-16.

Darwish, A., Leukert, K., & Reinhardt, W. 2003. Image segmentation for the purpose of object-based classification. In International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Vol. 3, pp. III-2039).

Marujo, R. D. F. B. 2013. Avaliação de métodos de segmentação de imagens aplicadas na classificação de culturas cafeeiras. 1. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/5097/1/MONOGRAFIA\\_Avaliação de métodos de segmentação de imagens aplicadas na classificação de culturas cafeeiras.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/5097/1/MONOGRAFIA_Avaliação_de_métodos_de_segmentação_de_imagens_aplicadas_na_classificação_de_culturas_cafeeiras.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2017.

Mo, D.K., Lin, H., Li, J., Sun, H., Xiong, X.-J. 2007. Design and implementation of a high spatial resolution remote sensing image intelligent interpretation system. Data Science Journal 6 (Supplement), S445\_452.

# **CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA DEL CULTIVO DE CACAO EN LA CUENCA DEL RIO SUCIO-OCCIDENTE ANTIOQUEÑO, PERIODO 2010 A 2017 MEDIANTE SENSORES REMOTOS.**

## **CHARACTERIZATION OF THE DYNAMICS OF CACAO CROP IN THE BASIN OF RIVER SUCIO-OCCIDENTE ANTIOQUEÑO, PERIOD 2010-2017 WITH REMOTE SENSORS**

**Carlos Arturo-Mejía Córdoba<sup>1</sup>, Carlos Alejandro-Marin Tangarife<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Investigador SENNOVA Grupo de investigación GIDOCA Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial del occidente Antioqueño. [cmejiaac@sena.edu.co](mailto:cmejiaac@sena.edu.co), [carmeco6@gmail.com](mailto:carmeco6@gmail.com) +057(4) 853 21 25. [Colombia](#). <sup>2</sup>Instructor área agrícola Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial del occidente Antioqueño. [Camarin1@misena.edu.co](mailto:Camarin1@misena.edu.co), +057(4) 853 21 25. [Colombia](#).

### **RESUMEN**

La dinámica, comportamiento y el crecimiento de sistemas agrícolas, son particularmente propicios para la aplicación de tecnologías digitales, con alto potencial de desarrollo. Este trabajo presenta un avance en los resultados de las investigaciones que se han realizado para medir la dinámica del cultivo de cacao mediante el uso del procesamiento digital de imágenes, adquiridas por sensores remotos satelitales. El estudio se llevó a cabo en cultivos de cacao, en la cuenca del río SUCIO, subregión del Occidente Antioqueño, municipios de Dabeiba, Uramita, Cañasgordas y Frontino. Se relacionó la información adquirida del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) producto MOD09A1 (Reflectancia de la superficie terrestre), durante el periodo 2010 a 2017, clasificando zonas que se diferencian por la firma espectral del cultivo de cacao. De esta manera, relacionar el estado fenológico del cultivo con la información en el espectro del infrarrojo cercano, abrió el camino para identificar las diferentes fases de desarrollo del cultivo; en este sentido, el trabajo de laboratorio se proyectó con los estudios del infrarrojo mediano y lejano con mayor



resolución multiespectral que complementó la firma a escala de cada etapa fenológica del cultivo de cacao.

**Palabras clave:** Imágenes satelitales, Sensores remotos, SIG, *Theobroma cacao*.

## INTRODUCCIÓN

La diversidad de especies vegetales presentes en Colombia y la falta de inventario sobre ellas hace pensar en un proceso que facilite la labor de los investigadores en estas disciplinas. (Arango, Branch, & Botero, 2005).

Con el uso de imágenes de acceso libre generadas por sensores remotos pasivos se puede realizar una clasificación e identificación de especies vegetales en una larga extensión de terreno, reduciendo costos y tiempo.

Por lo tanto se deslumbra la conveniencia de los productos generados a partir del sensor MODIS/Terra, Utilizados con mayor frecuencia dado que es información de libre acceso y sus propiedades de resolución espacial, espectral y temporal permiten realizar una caracterización geográfica a escala regional gruesa (1:50000), este sensor pasivo genera imágenes de coberturas vegetales que con frecuencia son utilizados para realizar mapas de clasificación vegetal (Polanco, 2012).

La clasificación es una forma de aprendizaje, un proceso que acumula y concentra experiencias dentro de modificaciones internas de un sistema (Arango et al., 2005), estas clasificaciones se realizan mediante de la utilización de un programa de análisis de imágenes bajo la metodología de clasificación supervisada y/o no supervisada, dependiendo de los alcances y calidad de los datos requeridos.

Partiendo de la radiancia que emite cada cultivo se realiza la identificación del mismo dentro de los productos generados por el sensor MODIS/Terra, específicamente productos MOD09A1, de ahí la hoja juega un papel muy importante dentro de la identificación de la radiación específica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao l*) conocida puntualmente como firma espectral, permitiéndolo desarrollar la estimación del crecimiento o decrecimiento de las

áreas cultivadas en cacao (*Theobroma cacao*), en la cuenca del río sucio, Occidente Antioqueño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio.

El estudio fue realizado en la subregión occidental del Departamento de Antioquia, Colombia, cuenca del Río-Sucio conformada por los municipios de Dabeiba Uramita, Cañasgordas y Frontino. En cuanto a extensión, presenta una superficie de 1.883 km<sup>2</sup> ,236 km<sup>2</sup>, 391 km<sup>2</sup> ,1263 km<sup>2</sup> sumando una extensión de 3773 km<sup>2</sup>. (Atlas estadístico DANE, 2012). Los 4 municipios que se ubican en esta cuenca presentan más de un 55% en zona rural , la región cuenta con una participación del 6.5% de la producción de Cacao a nivel Antioquia y se ubica entre las 5 primeras presentado un rendimiento de 540,9 Kg/Ha.(Cámara De Comercio Medellín, 2012)

### Datos de campo

Se georreferenciaron 92 predios de productores de Cacao en los municipios de Dabeiba Uramita, Cañasgordas y Frontino, durante el periodo del mes de Mayo hasta el mes de Julio del año 2017, los lotes presentaban diferentes etapas fisiológicas con el objeto de considerarse una muestra heterogénea para determinar la subclases del cultivo de cacao” como clase de cobertura vegetal a fines de ser considerados como semillas para la aplicación de métodos no supervisados. La tabla 1, muestra cómo se agruparon las clases en relación a la etapa fenológica del cultivo y su distribución en los municipios muestreados.



**Tabla 3. División de subclases de acuerdo a el estado fenológico del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L).**

Etapas fenológicas-años	Numero de muestras	Subclase	MUESTRAS POR MUNICIPIOS			
			Dabeiba	Uramita	Cañasgordas	Frontino
0-2	30	1	4	7	6	13
2--4	30	2	7	8	4	11
>4	32	3	10	9	2	9

### Imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes satelitales del sensor MODIS, con el lapso temporal de 2010 a 2017, obteniendo 209 imágenes potenciales. Con el fin de optimizar recursos en el momento de la clasificación. Se eliminaron imágenes con alta nubosidad (nubosidad con al menos 30%) e imágenes que no presentaban la escena completa.

Después de aplicar los filtros anteriores se obtuvieron 16 imágenes con las condiciones óptimas, para realizar la clasificación no supervisada, se consideraron 92 muestras o semillas con el objeto de abarcar las clases de cobertura vegetal “cultivo de cacao” con diferentes criterios de acuerdo al tiempo de establecimiento del cultivo como tal.

Los productos MODIS son importantes para considerar el índice de vegetación produciendo una constante comparación en particular en el crecimiento de cultivos (Rochdi & Fernandes, 2010)

Después de aplicar los filtros anteriores se obtuvieron 16 imágenes con las condiciones óptimas, para realizar la clasificación no supervisada se consideraron 92 muestras o semillas con el objeto de abarcar las clases de cobertura vegetal “cultivo de cacao” con diferentes criterios de acuerdo al tiempo de establecimiento del cultivo como tal.

### Procesamiento de imágenes

MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) incluye dos satélites (MODIS-Terra y MODIS-Aqua) que proporcionan imágenes de la superficie entera del globo cada 1 a 2 días. (Raghavendra & Mohammed Aslam, 2017) Estas imágenes contienen información de alta sensibilidad radiométrica en 36 bandas espectrales y a tres diferentes resoluciones: 250m, 500m y 1000m. El área de cobertura es de 100 x 100 divididos en “tiles” o cuadros con una cobertura global. (Cabrera, Galindo, & Vargas, 2011). Para Colombia se seleccionaron las imágenes con una resolución espacial de 500m cada 16 días según el calendario juliano correspondiente al periodo 2010 a 2017 un total de 159 periodos.

MODIS contiene diferentes productos disponibles actualmente. Este documento está enfocado principalmente en el producto de Índices de Vegetación de 16-días de composición (EVI y NDVI) Para el pre-procesamiento de las Imágenes a un formato compatible con un software GIS (ENVI) (Nasa, 2011), fue necesario obtener los programas de instalación para pre-procesamientos de los datos, los cuales se encuentran disponibles en la página de USGS (<http://LDPAAC.usgs.gov>) de acuerdo al sistema operativo en que se desee trabajar.

Inicialmente con el objeto de corregir los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en las imágenes sumado a la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados se les aplicó corrección atmosférica y se usó la propuesta por (Chuvieco 2000 y Aguilar et al, 2015). Con las imágenes corregidas se procedió a la selección de datos e identificación de semillas en el software ENVI 5.0 para culminar con la clasificación digital no supervisada que se da desde el software y posterior análisis. Teniendo en cuenta la topografía de la zona es posible encontrar zonas de cero reflectividad, debido a la alta nubosidad.

En la escogencia de las bandas no se tuvo en cuenta la banda del infrarrojo medio – lejano dado que se orienta a la discriminación de formaciones rocosas y alteraciones hidrotermales, por lo que tampoco se tuvo en cuenta para la selección, mientras que las bandas 2, 3, 4 y 5 fueron diseñadas para el monitoreo de coberturas vegetales. (Arango et al., 2005). Con la combinación de bandas 4, 3, 2 color real, se realizó la clasificación no supervisada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

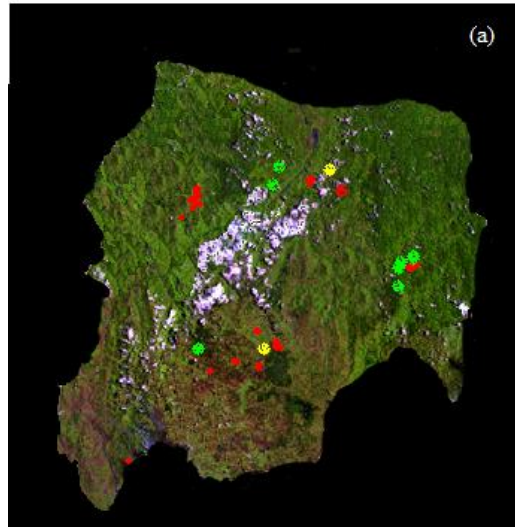
La clasificación manual de las imágenes acorde a lo descrito de manera anterior fue medianamente útil en la selección de imágenes de buena calidad visual. Permitiendo descartar mediante un procedimiento las imágenes de mala calidad.

La selección de las bandas que permiten la mejor separabilidad muestra que la diversidad espectral es más importante que la temporal ya que las bandas seleccionadas corresponden a diferentes partes del espectro pero a fechas cercanas.

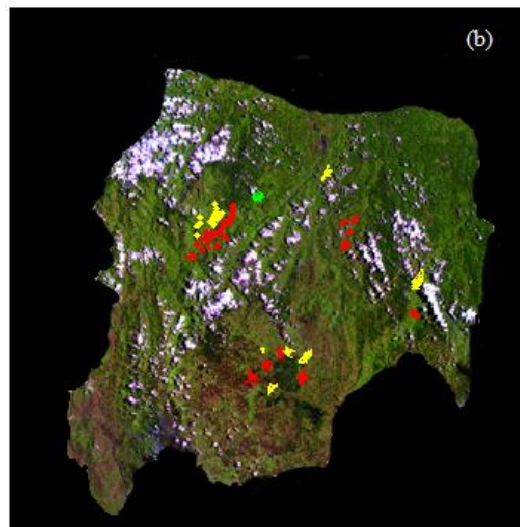
La clasificación no supervisada identificó un aumento en las áreas de distribución año a año

**Tabla 4. Estimación en áreas de producción de cacao**

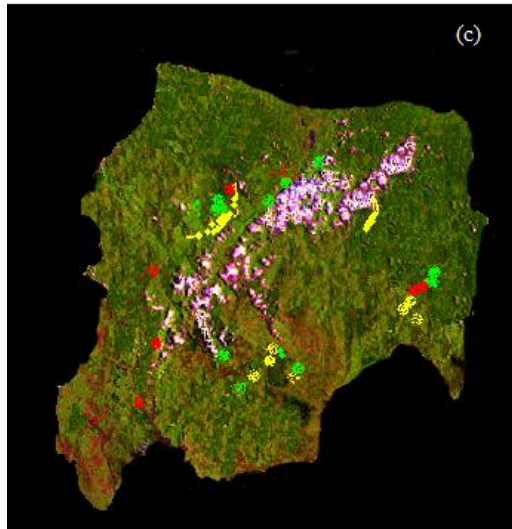
		Área estimada en Has							
	Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Clase 1</b>	<b>0-2</b>	275	0	25	75	108	146	183	50
<b>Clase 2</b>	<b>2--4</b>	150	200	0	0	175	146	183	75
<b>Clase 3</b>	<b>&gt;4</b>	125	175	225	300	325	350	325	400
		550	375	250	375	608	642	692	525



**Figura 14.** Distribución de los cultivos de cacao para el año 2010.



**Figura 15.** Distribución de los cultivos de cacao año 2014



**Figura 16.** Distribución de los cultivos de cacao año 2017

Las figuras 1,2 y 3, representan la distribución y edad, de cultivos de cacao para el año 2010, 2014 y 2017, respectivamente.

El color rojo, representa cultivos de cacao con una edad entre 0-2 años, color amarillo para cultivos de cacao entre los 2 y 4 años de edad y cultivos mayores a 4 años de edad el color verde.

El mapa de clasificación existente permitió visualizar un incremento significativo de la fiabilidad. Sin embargo, este método podría resultar a veces contraproducente en particular si el mapa de referencia es erróneo o desactualizado (García-Mora & Mas, 2011), El método implementado en este trabajo introduce información que distorsiona los valores reales de la imagen y por lo tanto los métodos de clasificación no operan adecuadamente. Esto también podría sustentarse sobre los resultados de algunas investigaciones que indican la alteración en la información evaluada. (Panday, et al, 2018).

Dentro de las ventajas encontradas, se obtuvo que el método se puede replicar y actualmente se está generando para toda Suramérica. Gracias a esta metodología de capacitación, CIAT pudo obtener los formatos crudos (500 DVD's en formato HDF-EOS) correspondiente a los periodos 2000 hasta 2005 para toda Suramérica.

## CONCLUSIONES

Tener la metodología para procesar las imágenes MODIS ha sido de un gran valor agregado para el desarrollo de la metodología de identificación de coberturas vegetales en el área, uso de la Tierra, al igual que poner los datos a disponibilidad de quien lo requiera. Sin la ayuda de USGS hubiera sido difícil generar los mapas, mosaicos y extraer la información de índices de vegetación.

Los scripts utilizados no se pueden detallar ampliamente en este paper. Sin embargo, los procesos pueden resultar complicados dependiendo de la resolución de los datos, por el tamaño de la información a procesar y las limitaciones que pueda presentar la plataforma utilizada.

## REFERENCIAS

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2015). Metodología Para La Corrección Atmosférica De Imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 Y Landsat 8 Con El Módulo Flaash Del Software Envi. Atmospheric Correction Methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39–59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Arango, M., Branch, J., & Botero, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: “LANDSAT– ETM+.” *Facultad Nacional de Agricultura Medellín*, 58(1), 2611–2634.
- Cabrera, E., Galindo, G., & Vargas, D. (2011). *Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina*.
- Camara De Comercio Medellin. (2012). Cadena del Cacao en Antioquia.(Informe técnico).
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección Ambiental - La Observacion de la Tierra desde el Espacio, 591.
- DANE. (2012). Atlas Estadístico de Colombia. Retrieved January 8, 2018, from <http://sige.dane.gov.co/atlasestadistico/>
- Garcia-Mora, T. J., & Mas, J. F. (2011). Evaluacion de imagenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una region altamente diversa de mexico. *Boletín de La Sociedad Geologica Mexicana*, 63(1), 83–94.
- Nasa. (2011). Modis Reprojection Tool User ’ S Manual. *USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Release 4*.(April), 1–69.
- Panday, D., Cordeiro de Amorim, R., & Lane, P. (2018). Feature weighting as a tool for unsupervised feature selection. *Information Processing Letters*, 129, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.ipl.2017.09.005>
- Polanco, J. (2012). Remote Sensing Analysis of Belmira ’ S Paramo Vegetation With

Landsat Imagery. *Dyna*, 79, 1–11.

- Raghavendra, B. R., & Mohammed Aslam, M. A. (2017). Sensitivity of vegetation indices of MODIS data for the monitoring of rice crops in Raichur district, Karnataka, India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2), 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.005>
- Rochdi, N., & Fernandes, R. (2010). Systematic mapping of Leaf Area Index across Canada using 250-meter MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(5), 1130–1135. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.12.014>

## MONITOREO DEL CULTIVO DE PIÑA EN COSTA RICA, PARA EL PERIODO 2000-2015, VINCULADO AL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION TERRITORIAL

### MONITORING OF PINEAPPLE PLANTATION IN COSTA RICA, FOR THE PERIOD 2000-2015, LINKED TO THE NATIONAL TERRITORIAL INFORMATION SYSTEM

Christian Vargas-Bolaños. <sup>a\*1</sup>, Heileen Aguilar-Arias<sup>a</sup>

<sup>a\*</sup>Consejo Nacional de Rectores (CONARE), Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) Laboratorio PRIAS, Investigador, [cvargas.cenat.ac.cr](mailto:cvargas.cenat.ac.cr), [haguilar@cenat.ac.cr](mailto:haguilar@cenat.ac.cr) Teléfono (506) 25195709, Costa Rica.

**Resumen:** La producción del cultivo de piña en Costa Rica se caracteriza por presentar un aumento expansivo en los últimos 20 años. Durante estas dos últimas décadas la incorporación de nuevas tecnologías para cultivar dicho producto ha llevado al aumento en la extensión del área cultivada en todo el territorio costarricense. Basado en lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo primordial realizar una línea base que identificara los terrenos con área cultivada de piña en Costa Rica para los años 2000 y 2015. La metodología utilizada para ello está basada en el uso de técnicas de teledetección (clasificación supervisada y no supervisada), fotointerpretación y digitalización mediante imágenes del satélite Landsat y fotografías aéreas del año 2005 y 2003. Los resultados obtenidos muestran un incremento del área cultivada de piña, ya que pasó de 13.308,85 ha cultivadas en el 2000 a 58.543,19 ha aproximadamente en el 2015.

**Palabras clave:** *Piña, Monitoreo, Costa Rica, Imágenes satelitales, Expansión*

**Abstract:** The production of pineapple in Costa Rica is characterized by an expansive increase in the last 20 years, in this period have been promoted processes such as the

---

\*Autor principal



incorporation of new technologies to grow this product, which led to the extension of the area of cultivation in the Costa Rican territory. That is why the objective of this work was to make a baseline that would identify pineapple production sites in Costa Rica for the years 2000-2015. The methodology used for this was, remote sensing techniques (supervised and unsupervised classification), photointerpretation and digitalization using Landsat satellite images and aerial photographs from 2005 and 2003. The result was an increase in the area planted in pineapple, since it went from 13 308.85 hectares cultivated in 2000 to 58 543.19 hectares approximately in 2015.

**Key words:** Pineapple, Monitoring, Costa Rica, Satellite images, Growth

## INTRODUCCION

Según datos del INEC (2015) y CANAPEP (2018), la producción de piña en Costa Rica abarca una extensión agrícola de 37.659,9 ha y 43.000 lo que ha generado una discrepancia en los datos encontrados, por tanto, este estudio viene a aportar información de gran precisión basado en técnicas de teledetección y utilizando sensores remotos.

La rápida expansión del cultivo de piña en las últimas décadas propició cambios en las coberturas de la tierra. De acuerdo con Maglianesi (2013), en algunas regiones del país se han presentado procesos de deforestación para lograr expandir el cultivo; asimismo, se han sustituido algunas actividades agrarias por plantaciones de piña. Además, se identifican impactos al medio ambiente, ya que la producción de este monocultivo requiere la aplicación de agroquímicos considerados como fuentes contaminantes y ocasionan sedimentación a la red hídrica por el mal manejo de los suelos. A su vez, estos generan gran cantidad de residuos sólidos y líquidos, los cuales en muchas ocasiones tienen un uso inadecuado (Maglianesi, 2013).

Debido al crecimiento del área cultivada de piña y a los posibles impactos ocasionados en dicha actividad, este estudio tuvo como objetivo principal realizar una línea base que identificara los sitios con cobertura de área cultivada de piña en Costa Rica basado en dos periodos 2000 y 2015.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de Estudio

El estudio fue desarrollado en el territorio de Costa Rica, ubicado en la región de Centroamérica, entre las coordenadas 10° 00' N y -84° 00' W. La determinación del área fue dada según los sitios de producción de piña que existieran para el país, para ello se utilizó como referencia la regionalización planteada por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) y que se encuentra en el Atlas Digital de Costa Rica (Ortiz, 2014), lo que segrega al país en cuatro regiones: Región Huetar Norte (se unió con el cantón de Heredia para facilitar el análisis y colecta de la información en campo), Región Huetar Caribe, Región Brunca y Región Pacífico Central (figura 1.)

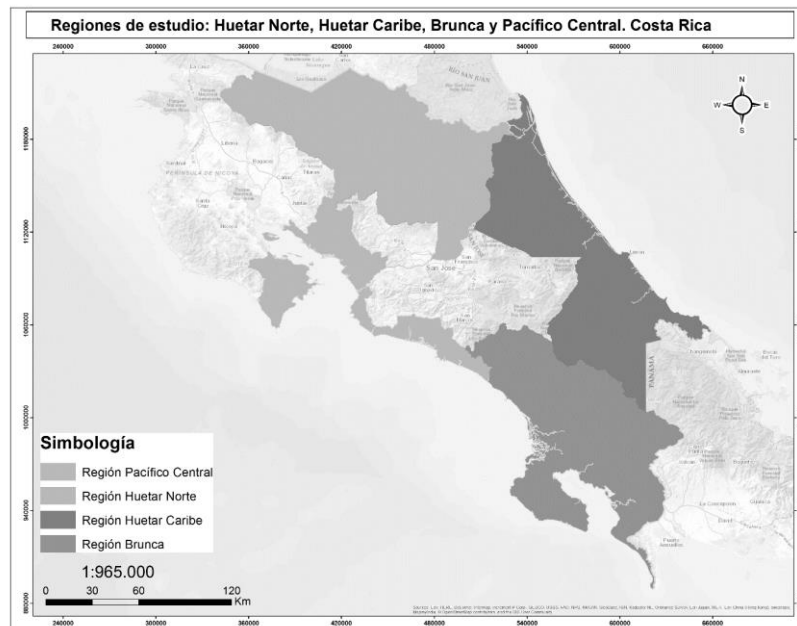


Figura 1. Regiones de estudio: Huetar Norte, Huetar Caribe, Brunca y Pacífico Central.

## **Procesamiento de los datos y validación**

El estudio contempló varias etapas para obtener el área cultivada de piña en las diferentes regiones del país, estas etapas son: el pre-procesamiento de las imágenes satelitales, la clasificación no supervisada y supervisada de las imágenes satelitales seleccionadas, la validación de la información obtenida de los sensores remotos y finalmente la elaboración de la cobertura de piña para el año 2000 y 2015.

El pre-procesamiento, se basó en aplicar a las imágenes satelitales seleccionadas (Landsat) un proceso de corrección a nivel radiométrico, geométrico y atmosférico, esto debido a que toda imagen proveniente de un sensor remoto está expuesta a interacciones con la atmósfera y por las condiciones del relieve se debe ajustar para que se represente la realidad de la topografía (Aguilar et al., 2014).

Para los datos del año 2000 se realizó una clasificación espectral a partir de imágenes Landsat, por medio del software ENVI, donde se aplicó una clasificación No Supervisada con el algoritmo K-means, posteriormente se depuró, digitalizó y mejoró la extracción de las áreas correspondientes al cultivo de piña mediante la técnica de fotointerpretación y con el apoyo de insumos como: fotografías del proyecto CARTA (2003-2005), imágenes multispectrales del sensor MASTER (adquiridas en el año 2003 junto a las fotografías aéreas) y en algunos casos se tomó como referencia las imágenes de Google Earth.

Para la generación de la información del año 2015 se utilizó el software ERDAS y la herramienta de árboles de decisión See5 para la clasificación de coberturas utilizando 12 clases en imágenes Landsat, una vez obtenida el área de piña se procedió a depurar y mejorar las áreas de interés utilizando insumos como imágenes CARTA 2005, Google Earth, datos RapidEye 2012 y otras imágenes Landsat y mejorando los resultados con digitalización.

Con el objetivo de determinar la exactitud del proceso de clasificación e identificación, para la cobertura del año 2000 se generaron 200 puntos de manera aleatoria, esto debido a que no se contaba con información de campo, por otro lado, para la validación de la cobertura del año 2015 se realizaron giras de campo y se obtuvieron más de 200 puntos por región, para

determinar las áreas cultivadas de piña; así mismo, se generó la validación de la información para cada una de las regiones, en los casos que fue necesario se generaron puntos aleatorios para cumplir con el estándar de validación establecido por Chuvieco (2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir de la metodología empleada se muestran en las Figuras 2 y 3, y se encuentran publicados actualmente en el sitio web del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT, 2018).

Para el caso de la distribución del área cultivada de piña para el año 2000 se utilizaron imágenes del sensor Landsat 5, los resultados muestran las siguientes áreas para cada una de las regiones: Región Caribe 1.686,49 ha, Huetar Norte 6.538,74 ha y Brunca 5.083,11 para un total de 13.308,35 ha en zonas productoras del país.

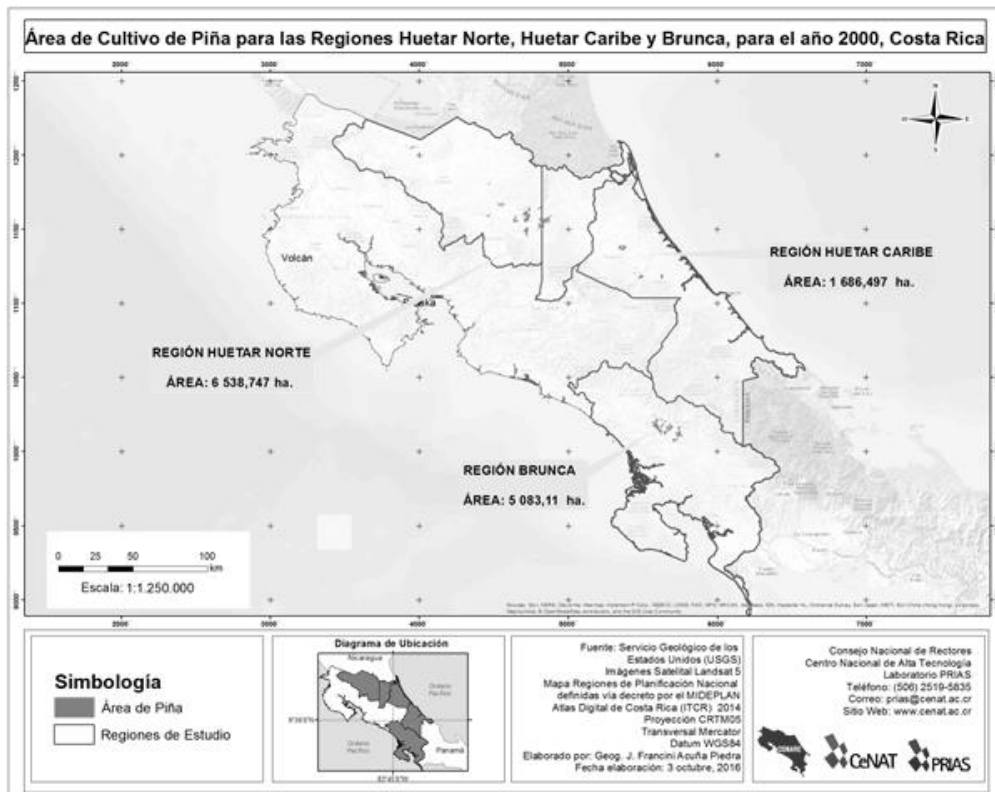


Figura 2. Distribución del cultivo de piña, Costa Rica año 2000.

La producción del cultivo de la piña está presente en Costa Rica desde 1950, predominando en sectores como la región norte. Posteriormente, para la década del 2000 con la entrada de nuevas variedades de piña como la piña Gold (dorada), se evidencio el incremento del cultivo entre el año 2000 y 2015, logrando con ello su acogida en el mercado internacional (CANAPEP,2018).

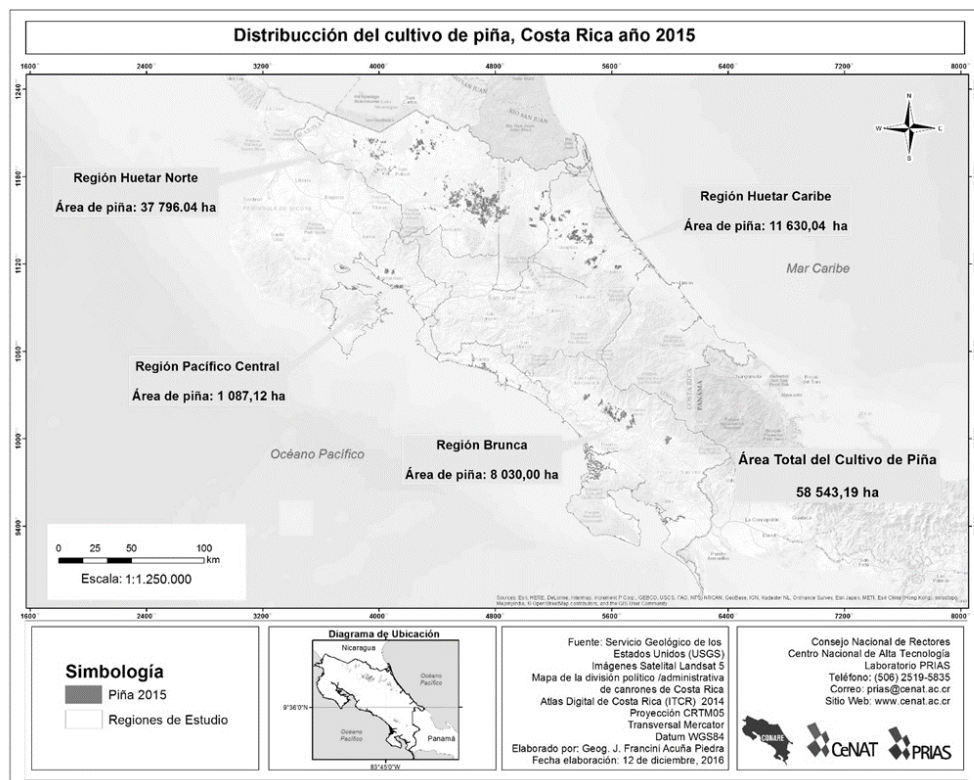


Figura 3. Distribución del cultivo de piña, Costa Rica año 2015

Para la distribución del cultivo de piña al año 2015 se obtuvieron los siguientes valores: Región Caribe 11630,04 ha, Huetar Norte 37.796,04 ha, Brunca 8.030,00 ha y Pacífico Central 1.087,12 ha para un total de 58.543,19 ha.

El Gráfico 1 refleja el incremento del área cultivada de piña entre el 2000 y el 2015 para cada una de las regiones. Es posible observar que en la Región Huetar Norte y la Caribe cultivo de piña creció en un 234% y 74% respectivamente en el periodo de 15 años (no se consideró Pacífico Central para el año 2000 debido a la ausencia del cultivo para la zona).

Para el caso de la Región Norte el cantón de San Carlos es el que mayor cantidad de área cultivada posee para el año 2015 con 17.503 ha, seguido por la suma de los cantones Upala, Guatuso y Los Chiles con 8.8896 ha.

Por otra parte, en la región Caribe, el cantón que posee la mayor cantidad de piña cultivada es Pococí con 5.412,06 ha, lo que equivale al 46,53% para toda la región, el cantón Guácimo posee 4.099,3 ha, mientras que Guácimo cuenta con 3342,97 ha y Siquirres 2875,01 ha.

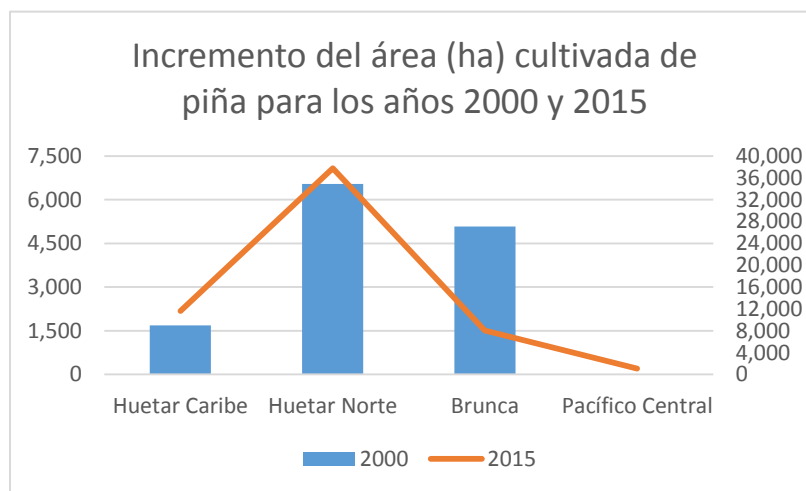


Gráfico 1. Incremento de las áreas (ha) de cultivo de piña entre los años 2000 y 2015.

Es importante mencionar, tal como lo argumenta Cortes (1994), que las áreas potenciales para el cultivo de piña en la región Huetar Norte presentaron valores de 57.400 ha y para el Caribe de 45.500, esto debido a sus condiciones de suelos donde predominan los inceptisoles, ultisoles y variaciones entre ultisol/inceptisol – inceptisol/andisol respectivamente. Esto generó la facilidad para la propagación del cultivo, sin mencionar las ganancias en las



exportaciones obtenidas por el producto de fruta fresca según CANAPEP (2018), para el año 2015 la producción del país fue de 1.858.899 Ton.

### CONCLUSIONES

- El resultado obtenido mediante el método de foto-interpretación, digitalización y clasificación de imágenes fue efectivo para realizar la extracción de las coberturas de piña para los años 2000 y 2015, con un grado de precisión superior al 80% de acierto para las áreas plantadas.
- La aplicación de sensores remotos y el trabajo de campo efectuado es fundamental para realizar la discriminación de coberturas que puedan ser similares a las plantaciones de piña, o en su defecto descartar si la piña se encuentra en algún estadio sucesional, propio de la plantación lo que puede llevar a que el sensor o el foto-interprete no logre discriminar adecuadamente el tipo de cultivo a extraer.
- La producción de piña para el año 2000 fue de 13.308,35, mientras que para el año 2015 fue de 58.543,19 ha, donde las regiones Huetar Caribe y Huetar Norte presentaron el mayor incremento de áreas productoras.
- La utilización de imágenes Landsat es recomendado para este tipo de estudios.
- Los resultados cartográficos tienen gran precisión e identificación de la realidad basado en el sensor utilizado y están disponibles en el visor cartográfico de acceso al público del Sistema Nacional de Información Territorial.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden un especial agradecimiento al Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) por facilitar el financiamiento de este trabajo que se viene realizando desde el año 2014, y en especial mención a los equipos de trabajo vinculados con el desarrollo cartográfico conformados por: Cornelia Miller, Annie Vargas, Meybell Carranza, Marilyn Ortega, Lloyd Foster, Francini Acuña y Daniela Campos. Un especial agradecimiento al Servicio Fitosanitario del Estado por facilitar información y contactos para el ingreso a algunas fincas piñeras.

## BIBLIOGRAFÍA

**Aguilar H, Mora R., Vargas C., (2014).** Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista geográfica de américa central* 53: 39-59.

**Acuña, G. (2004).** Diagnóstico, situación y condiciones de la agroindustria piñera en Costa Rica. *ASEPROLA, Costa Rica*.

**CANAPEP (2018).** Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. CANAPEP- Estadísticas. Tomado de <https://canapep.com/estadisticas>, 30 de enero 2018.

**Cortés, G. (1994).** Atlas agropecuario de Costa Rica. San José, Costa Rica: EUNED.

**Chuvieco, Emilio. (2010).** Teledetección Ambiental: La Observación de la tierra sobre el espacio. España.

**Maglianesi-Sandoz, M. A. (2013).** Desarrollo de las piñeras en Costa Rica y sus impactos sobre ecosistemas naturales y agro-urbanos. *Biocenosis*, 27.

**Ortiz, E. (2014).** Atlas Digital de Costa Rica 2014. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**SNITCR. (2018).** Sistema Nacional de Información Territorial. Visor cartográfico – Temática Paisajes Productivos. Tomado de: <http://www.snitcr.go.cr/Visor/index?p=cHJveWVjdG86OnBhaXNhamVzcHJvZHVjdGI2b3M=>, 30 de enero 2018.

**INEC. (2015).** Instituto Nacional de Estadística y Censos. VI Censo Nacional Agropecuario: Cultivo Agrícolas, Forestales y Ornamentales / Instituto Nacional de Estadística y Censos. - 1 ed. --San José. C.R.: INEC, 285 p



## CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA A TRAVÉS DE FOTOGRAMETRÍA UAS

**Sergio Arriola-Valverde<sup>1</sup>, Karolina Villagra-Mendoza<sup>2</sup>, Maikel Méndez-Morales<sup>3</sup>,  
Natalia Gómez-Calderón<sup>2</sup>, Milton Solórzano-Quintana (msolorzano@tec.ac.cr)<sup>2</sup> y  
Renato Rimolo-Donadío<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Electrónica, <sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Agrícola, <sup>3</sup>Centro de Investigación en  
Vivienda y Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 30101 Cartago, Costa Rica.

P.O. Box 159-7050 Cartago, Costa Rica, Tel. (506) 2550-2725,

{sariola, kvillagra, mamendez, ngomez, msolorzano, rrimolo}@tec.ac.cr

### RESUMEN

En este trabajo se propone una metodología para la cuantificación de la erosión hídrica en parcelas con baja cobertura vegetal, a través de fotogrametría con sistemas aéreos no tripulados. El proceso consiste en la generación de una base histórica de modelos de elevación digital (DEM) sobre un área de estudio a partir de levantamientos fotogramétricos, la cual está relacionada espacialmente por puntos de control en sitio. Esta información se utiliza para la conformación de DEMs tipo “RASTER” desde los cuales se estiman los volúmenes desplazados de suelo a lo largo del tiempo. Dichos cálculos son totalizados a partir de un nivel de referencia para la cuantificación de los volúmenes de suelo erosionados. El artículo presenta un caso de estudio, dónde se discuten aspectos relevantes en cuanto a la toma de datos, requerimientos de los puntos de control e interpretación de los datos, alcanzándose una resolución máxima de alrededor de 1 cm/pixel.

**Palabras claves:** erosión, fotogrametría, modelo de elevación digital, sistemas aéreos no tripulados (UAS).

### ABSTRACT

This paper proposes a methodology for the quantification of hydric erosion in land plots with low vegetal coverage, through photogrammetry with unmanned aerial systems. The process consists of the generation of a historical base of digital elevation models (DEM) over a study from photogrammetric surveys, which is spatially related to on-site control points. This

information is used for the creation of DEMs in a “RASTER” format, from which the displaced volumes of soil are estimated over time. These calculations are totalized from a reference level for the quantification of eroded/displaced soil volumes. The article presents a case study, where relevant aspects are discussed in terms of data collection, control point requirements, and data interpretation, reaching a maximum spatial resolution of about 1 cm/pixel.

**Keywords:** digital elevation model, erosion, photogrammetry, unmanned aerial systems (UAS).

## INTRODUCCIÓN

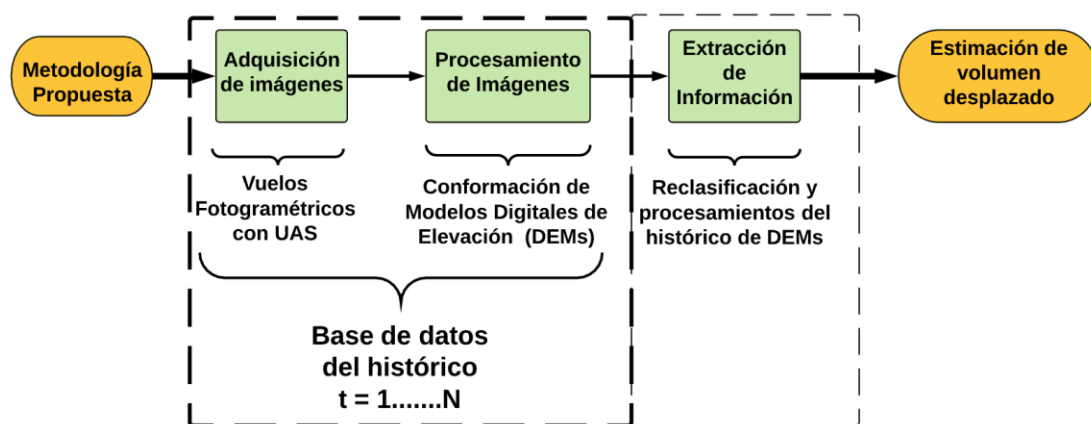
Las actividades agrícolas ocasionan alteraciones a nivel físico en la estructura del suelo y debido a diversas prácticas productivas, los suelos sufren una fuerte degradación con pérdida de nutrientes, remoción y contaminación (Álvarez, 2013), (Neder, 2010). Los procesos de erosión son una fuente de degradación, y aunque son mayoritariamente de origen natural, se acentúan debido a actividades humanas que se traducen, por ejemplo, en deforestación, modificaciones estructurales e hidrológicas (Pizarro, 2010), (Ruiz, 2011). Debido al arrastre de sedimentos generados por procesos de erosión, en la cuenca de Río Reventazón, por ejemplo, se estima que el volumen de sedimentos alcanza entre 1 y 2 millones de toneladas por año. Estas altas tasas de deposición de sedimentos generan problemas en la generación de energía eléctrica (ICE, 2011). La cuantificación de estos procesos es importante para formular planes de manejo del suelo y mitigar su impacto, sin embargo, es una tarea compleja debido a las numerosas variables que se requieren para estimar la dinámica del suelo. Se han propuesto numerosas metodologías directas que permiten estimar la pérdida física del suelo, pero generalmente se asocian con una complejidad logística muy alta (Arriola, 2018). En Costa Rica, las parcelas de escorrentía constituyen una metodología de uso frecuente. Sin embargo, desventajas tales como alto costo de construcción, gastos excesivos en mantenimiento, resultados con baja precisión y trabajo manual no calificado dificultan la obtención de datos confiables.

Esto ha motivado la búsqueda de otras alternativas indirectas para la cuantificación de erosión tales como la fotogrametría UAS. Con este acercamiento se crean un conjunto de modelos

de elevación digital a partir de fotografías aéreas georreferenciadas para poder predecir las variaciones en la superficie del suelo con una alta resolución temporal y espacial en parcelas con baja cobertura vegetal. Este trabajo presenta una metodología para cuantificación de erosión basada en fotogrametría UAS y su valoración a partir de un caso de estudio. Los volúmenes desplazados a nivel temporal se totalizan a partir de un nivel de referencia.

### METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN

La metodología se basa en tres etapas, cuyos objetivos son la toma de datos, su procesamiento para la creación de DEMs, y su análisis a lo largo del tiempo, respectivamente. En la primera fase, se debe planificar y ejecutar la misión fotogramétrica, tomando en cuenta las condiciones ambientales, atmosféricas, topográficas y físicas del área bajo estudio, como se detalla en (Brenes, 2018). Según la resolución temporal definida y el número total de imágenes recolectadas en el levantamiento, mediante la aplicación de algoritmos *SIFT* (Scale-Invariant Feature Transform) y *SfM* (Structure for Motion) con paquetes de software fotogramétricos, se conforma el histórico de modelos de elevación digital. Para la extracción de información se aplica la técnica llamada “Difference of DEMs” (DoD) la cual permite totalizar diferencias volumétricas y mediante un proceso de reclasificación se contabiliza el volumen desplazado debido a procesos de erosión y deposición según el periodo de análisis establecido. En la figura 1 se muestra un diagrama que resume los procesos que conforman la metodología propuesta para cuantificación de erosión.



**Figura 1** Metodología para la cuantificación de la erosión a través de fotogrametría UAS

Debido a que es deseable que los DEMs posean una alta resolución espacial y que deben estar referenciados entre sí. Se utilizó una estación GPS-GNSS para posicionar los puntos de control en tierra, utilizando un sistema de proyección CRTM-05 incluyendo la altura ortométrica para cada punto de control mediante la ondulación respecto al geoide a través del sistema geoidal *EGM-08*. Estos puntos fueron mantenidos y verificados a lo largo del período de observación.

### APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología fue aplicada en una parcela experimental, utilizando una base de datos con seis momentos de observación, como se ilustra en la figura 2. El área bajo estudio se encuentra situada en el campo de prácticas agrícolas de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Figura 3). Para el análisis del volumen desplazado se utilizó una frecuencia de observación aproximadamente de manera semanal.

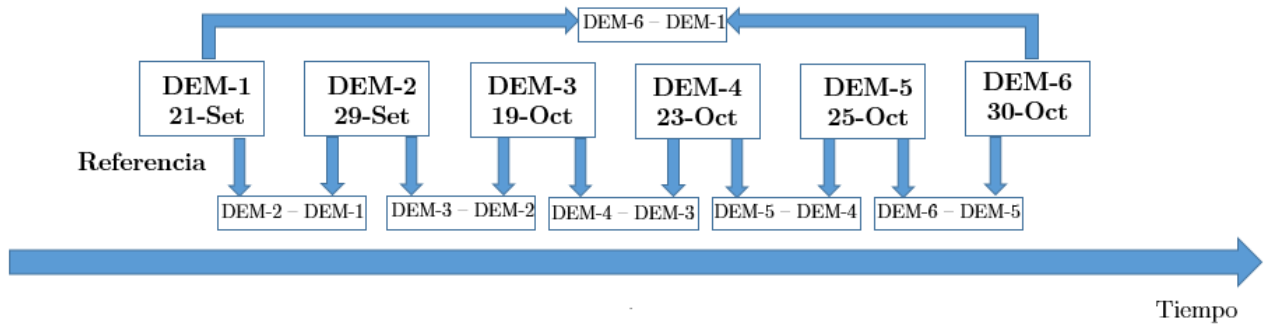


a)



b)

**Figura 2** Campo de prácticas utilizado: a) vista aérea, b) detalle del área bajo estudio.

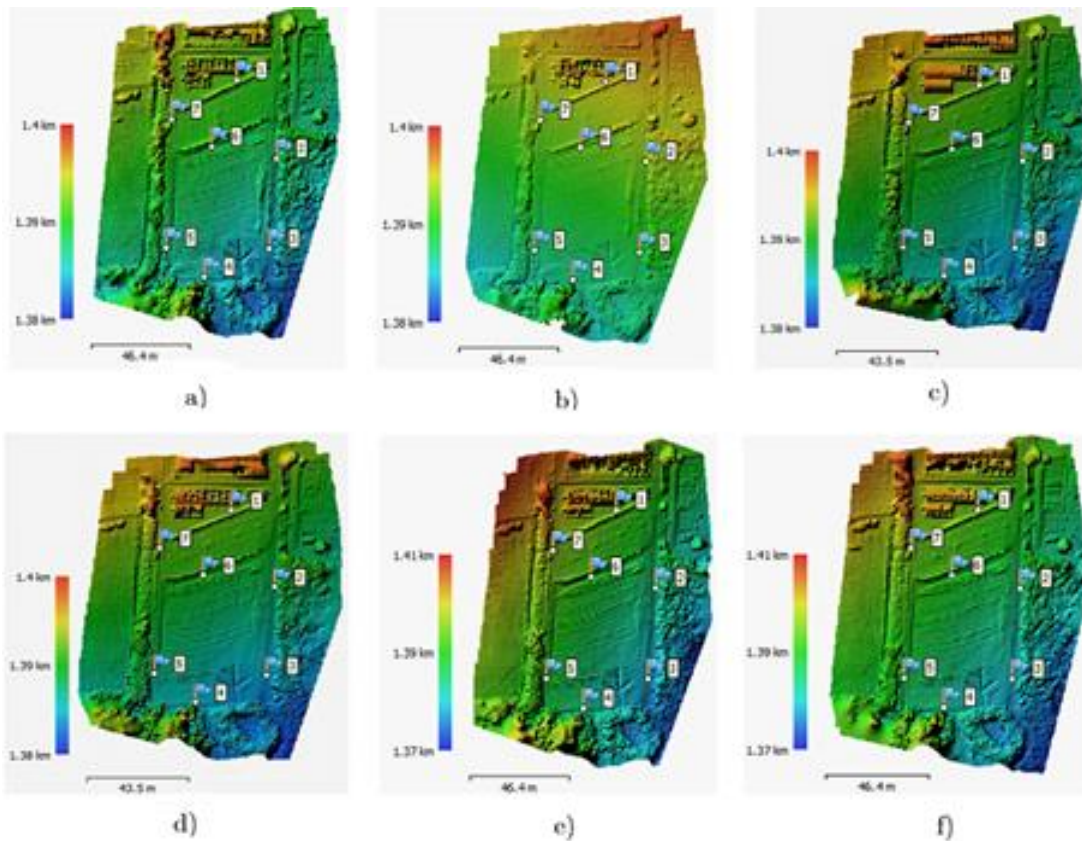


**Figura 3** Puntos de muestreo del área bajo estudio y su comparación

Los levantamientos fotogramétricos se llevaron a cabo con un UAS comercial marca DJI, modelo Phantom 3 Profesional, el cual posee a bordo un sensor de imagen pasivo RGB, marca SONY, modelo EXMOR-IMX117 de tecnología CMOS.

### Generación y análisis los DEMs

Para la generación de la base datos, se utilizaron un total de 1681 imágenes georreferenciadas las cuales fueron recolectadas a partir de seis vuelos fotogramétricos todos configurados a una altura de 22,5 mts, 80% de traslape frontal, 81% traslape lateral, con un ISO de 200 y velocidad de obturación de 1/2500 s.



**Figura 4** Modelos de elevación digital para diferentes fechas: a) DEM-1 21-Set, b) DEM-2 29-Set, d) DEM-3 19-Oct, e) DEM-4 23 Oct, f) DEM-5 25-Oct, g) DEM-6 30-Oct.

Para procesar las imágenes, se utilizó el software comercial Agisoft Photoscan Pro versión 1.3.3 para generar las nubes densas de puntos para cada levantamiento fotogramétrico. Para la conformación de los DEMs, el software fotogramétrico utiliza un método de interpolación *IDW*. Se obtuvo una resolución espacial de 1,13 cm/píxel. En la figura 4 se muestran los DEMs generados para los seis momentos de observación.

Se utilizaron tres puntos de control en tierra como orientación externa para georreferencias cada modelo de elevación digital. Los puntos de control en tierra fueron posicionados con una estación GPS-GNSS marca Leica, modelo GS-14, utilizando el sistema de proyección CRTM-05, en modo postproceso con una duración de 5 minutos por cada punto de control. Para asegurar la calidad de los puntos de control se realizaron tres mediciones de manera



mensual, identificando una deformación espacial máxima de 2.29 cm en la vertical. En cuanto a la precisión del histórico de los DEMs se obtuvo un valor RMSE promedio en la vertical de 1,103375 cm, siendo dicho resultado aceptable en comparación a la resolución espacial de aproximadamente 1 cm/pixel.

### **Cuantificación de erosión**

Para la comparación de la información se aplicó un remuestreo a todos los DEMs para definir un área y resolución espacial comparables para cada RASTER. El remuestreo se configuró con una resolución espacial de 1,13 cm/pixel (la más baja entre los 6 DEMs comparados), un método de interpolación bicúbico y las coordenadas geográficas del área bajo estudio.

Para la obtención de volúmenes desplazados a lo largo del tiempo, se utilizó el histórico de DEMs remuestreados, y mediante la técnica “Difference of DEMs” (DoD) se obtuvo un conjunto de mapas RASTER en unidades volumétricas. Debido a la presencia de cobertura vegetal, se aplicó un nivel umbral para la detección en la vertical, considerando la deformación espacial de los puntos de control en tierra y el valor RMSE de la georreferencia. Esto significa que la cobertura vegetal fue removida de manera parcial, sin embargo, como se discute a continuación, se dan falsos positivos por cobertura con umbrales semejantes a los removidos/depositados del suelo. En la figura 5 se muestran algunos mapas comparativos RASTER, luego de haber aplicado un proceso de reclasificación y establecimiento de un nivel de detección para un detalle del área bajo estudio en el que se formaron canales por erosión.

Para la estimación volumétrica de erosión se utilizó el software SIG ILWIS, el cual permitió totalizar el volumen de erosión y calcular la tasa de pérdida de suelo (ton/ha) a partir de la densidad aparente de suelo, definida en  $1.3 \text{ g/cm}^3$ . En la figura 6 se muestran las tasas de erosión entre diferentes puntos de observación utilizados.

## Análisis de Datos

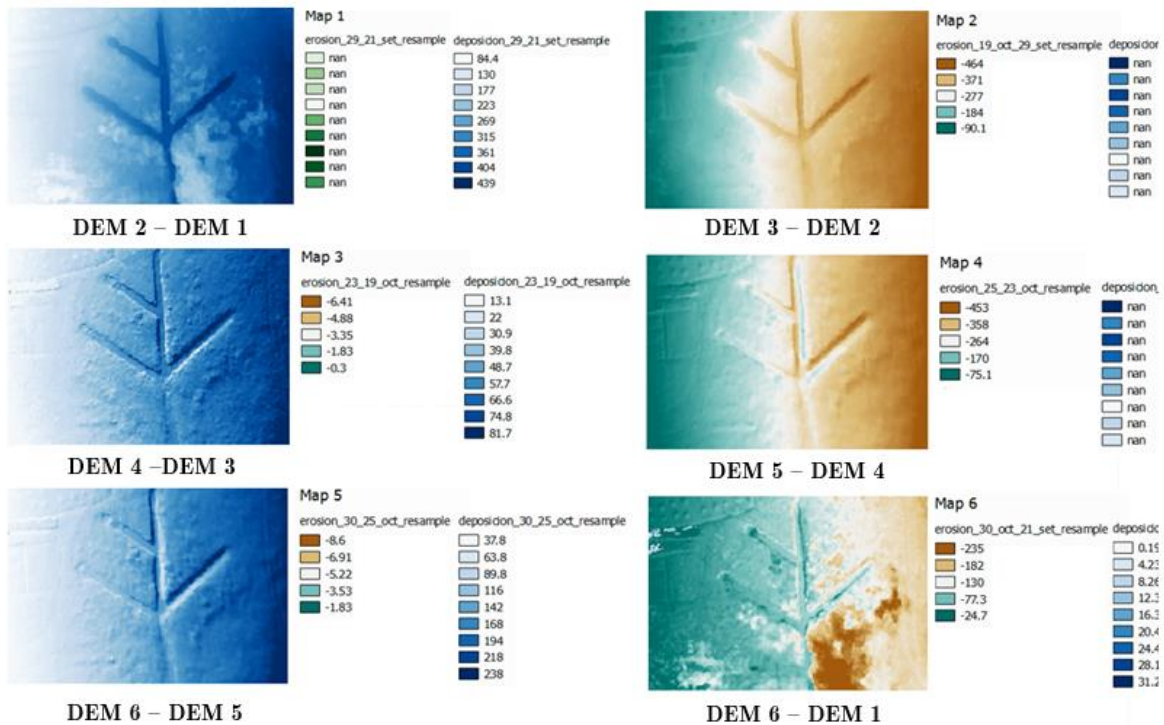
Observando las figuras 5 y 6, se evidencian procesos de erosión y deposición a lo largo del período de observación, dónde se observa una correlación entre los fenómenos y actividades sobre la parcela con la dinámica del suelo. La diferencia entre los dos primeros puntos de observación (DEM 2 – DEM 1) se atribuye a procesos de deposición a lo largo del detalle bajo estudio. Inicialmente se encuentran pozos de agua para la primera toma que arrastran sedimentos de otras partes de la parcela y se traducen en mayor cantidad de suelo totalizado. Para el punto de observación 3 se observa remoción de la maleza y un mayor desgaste que se totaliza como una pérdida de terreno. Esta diferencia se asocia con altas precipitaciones ocasionadas con la tormenta tropical Nate.

Para el período de análisis entre los DEM 4 y 3, se evidenció una deposición neta dentro del canal, atribuido a actividades que se llevaron a cabo en las parcelas para rescatar parte del cultivo afectado por la influencia de la tormenta tropical. Además, a sus alrededores se identifica deposición debido al crecimiento de maleza alrededor. Se identificaron pequeños deslizamientos que no superan los  $3 \text{ cm}^3$  en laderas, depositándose dentro del canal.

La diferencia volumétrica entre el DEM 5 y DEM 4 se totaliza como una pérdida, la cual se puede asociar en parte con el control de malezas. Se evidencia que en periodos de observación donde no se controla la cobertura vegetal, la estimación de volúmenes desplazados se dificulta a partir de técnicas fotogramétricas. Entre los DEM 5 y 6, de forma semejante a casos anteriores, se reporta una tasa de deposición neta.

Para la tasa de pérdida totalizada a lo largo de todo el período (DEM 6 – DEM 1), se identifica una pérdida total, pero con una tasa menor debido a las modificaciones del área durante el curso de observación, que incluyen mecanizaciones y cortes de maleza. Si bien el tratamiento de la cobertura vegetal se debe depurar, se observa que la metodología es capaz de detectar variaciones temporales en la estructura superficial del suelo.



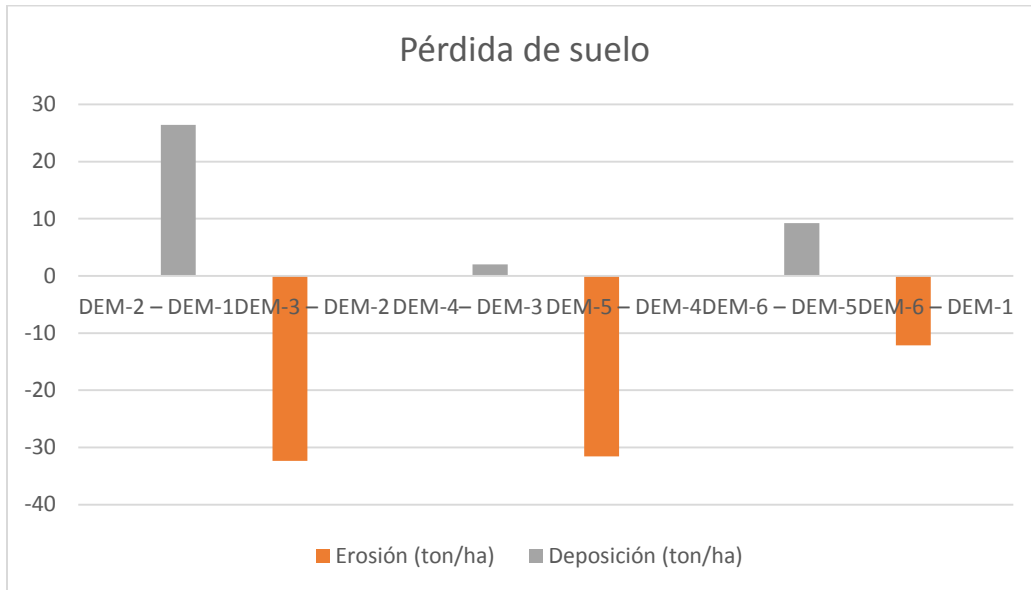


**Figura 5** Estimación de procesos de deposición y erosión con un periodo de observación semanal (azul denota deposición y verde/café erosión volumen en  $cm^3$ )

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta en este trabajo posibilita la cuantificación de erosión a partir de una base de datos histórica de modelos de elevación digital con alta resolución espacial y temporal a través del empleo de fotogrametría UAS.

Mediante el empleo de un sistema UAS comercial con un sensor de imagen abordo, se logró realizar levantamientos a una altura de 22.5 metros, con 200 imágenes georreferenciadas por cada misión, con un traslape frontal y lateral del 80%. La sistematización de los vuelos fotogramétricos permitió conformar un histórico de seis DEMs para una parcela experimental con una resolución espacial máxima de 1,3 cm/píxel, y un error RMSE comparable (1,103 cm en la vertical).



**Figura 6** Tasas de despsión y erosión (ton/ha) para diferentes puntos de observación

La observación entre diversos periodos permitió evidenciar cambios físicos sobre el área de estudio siempre y cuando exista una baja cobertura vegetal, los cuales son consistentes con eventos climáticos y acciones de mecanización sobre el terreno. Para poder cuantificar de forma precisa la erosión, el mayor reto se plantea como la separación de la cobertura vegetal sobre los cálculos de deposición y erosión, lo cual se debe considerar en trabajos futuros. Asimismo, los resultados con esta metodología deben ser comparados con los obtenidos a partir de técnicas directas tradicionales, para estimar la precisión del método.

### REFERENCIAS

- Álvarez, J, 2013, “Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica”
- Arriola, S, 2018, “Methodology to Determine Dynamic Displaced Soil Volume Through Photogrammetry with Unmanned Aerial Systems”, Tesis de Maestría en Electrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Brenes, L et al, 2018, " Generación de Modelos de Elevación Digital con Fotogrametría UAS". Aceptado, XIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola CLIA 2018, San José, Costa Rica.

ICE, 2011, "Postulación al Reconocimiento a Prácticas Promisorias en la Gestión Pública," Instituto. Costarricense de Electricidad., p. 58.

Neder. L et al, 2010, "Incremento de erosión y suelos degradados por acciones antropogénicas y variaciones climáticas, Tucumán," Revista de la Asociación. Geológica Argentina, vol. 66, no. 4, pp. 499–504.

Pizarro, R et al, 2010, "Evaluación de la erosión hídrica superficial en zonas áridas y semiáridas de Chile central," Aqua-LAC, vol. 2, pp. 1–11, 2010.

Ruiz, M, 2011, "Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain," Catena, vol. 104, pp. 153–160, 2013.

**CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA  
TRAZAR CURVAS DE NIVEL EN UN VEHÍCULO AÉREO NO  
TRIPULADO**  
**DEVICE CONSTRUCTION FOR LAYOUT CURVES OF LEVEL AND  
APPLICATION IN AN UNMANNED AERIAL VEHICLE**

**Josué Riofrio Correa; Samuel García Silva; Noé Velázquez López; Agustín Ruiz  
Gómez**

**Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ingeniería Agrícola y  
Uso Integral del Agua, Mail: [iosueriofrio@outlook.es](mailto:iosueriofrio@outlook.es) ,  
[samuelmx57@yahoo.com](mailto:samuelmx57@yahoo.com) , tel. +52 595 952 1500 Ext.1551 y 5522.  
México.**

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo, fue desarrollar un sistema de bajo costo para trazar curvas de nivel sobre terrenos agrícolas, para construir surcado en contorno, terrazas, así como diversas obras encaminadas al manejo y la conservación de los suelos. En México, la agricultura de montaña se lleva a cabo en parcelas con pendiente pronunciada, en tales condiciones los suelos están sujetos a alto riesgo de erosión hídrica, y eólica cuando permanecen desnudos, situación que representa un grave problema para los agricultores. El sistema que se desarrolló está basado en el uso de tecnología de Escaneo Laser, es decir, es un sistema que mientras es aerotransportado por un vehículo aéreo no tripulado, VANT o multirrotor, realiza un escaneo de la superficie del terreno. El sistema se compone por tres partes principales: por un sensor laser como distanciómetro, un sensor GPS para georeferenciar las lecturas del láser y un sensor acelerómetro para determinar la inclinación del sistema. Para la construcción del sistema, se seleccionaron tres opciones para los sensores requeridos, se construyó un prototipo; posteriormente se calibraron cada uno de los sensores y se llevó a cabo basado en una plataforma libre para un sistema LIDAR. Se realizó un levantamiento topográfico usando la metodología convencional, para obtener las curvas de nivel del terreno y posteriormente se usó el prototipo para la validación, se comparan y discuten los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** Surcado al contorno, VANT, Modelo Digital de Elevaciones, arduino, conservación de suelos.

## ABSTRACT

The objective of this work was to develop a low cost system for plotting contour lines on agricultural land, to construct contour pits, terraces, as well as various works aimed at the management and conservation of soils. In Mexico, mountain agriculture is carried out in plots with steep slopes, in such conditions the soils are subject to a high risk of water erosion, and wind when they remain bare, a situation that represents a serious problem for farmers. The system that was developed is based on the use of Laser Scanning technology, that is, it is a system that while airborne by an unmanned aerial vehicle, UAV or multicopter, performs a scan of the surface of the terrain. The system consists of three main parts: a laser sensor as a distance meter, a GPS sensor for georeferencing the laser readings and an accelerometer sensor to determine the inclination of the system. For the construction of the system, three options were selected for the required sensors, a prototype was built; Subsequently, each of the sensors was calibrated and carried out based on a free platform for a LIDAR system. A topographic survey was made using the conventional methodology, to obtain the terrain level curves and later the prototype was used for the validation, the results obtained are compared and discussed.

**Keywords:** Groove to the contour, UAV, Digital Elevation Model, arduino, soil conservation.

## INTRODUCCION

El proceso de pérdida de suelo se ha presentado al practicar la agricultura y deforestar las áreas de bosque en forma irracional. En México la susceptibilidad a la erosión hídrica es elevada debido a que cerca de la mitad de territorio (42.2%) tiene pendientes mayores a tres grados, (Cabrera, 2015). Las actividades productivas agricultura, ganadería y forestal, así como el crecimiento poblacional han acelerado la erosión del suelo,(Cardona, 2015).

Previo al diseño y construcción de infraestructura para el aprovechamiento y conducción hidráulica, así como en obras de conservación de suelo y humedad, es fundamental la realización de estudios topográficos que proporcionen la información de campo para el diseño geométrico de tales estructuras. El trazo de curvas de nivel y trabajos de conservación de suelos y aguas, es utilizada para la construcción de tinajas ciegas, surcado lister, terrazas, zanjas para el control de escurrimiento y, en caso de terrenos con poca pendiente para el surcado en contorno y cultivo en fajas. (Perez Nieto, 1995).

En este trabajo un elemento clave es el uso de un VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), se trata de una aeronave sin un piloto humano a bordo, cuyo vuelo está controlado de forma autónoma, (Duan & Li, 2014). La habilidad y los sentidos del aeronauta han sido reemplazados por sensores electrónicos de gran precisión, que consiguen una maniobrabilidad prácticamente perfecta, como son acelerómetros y giroscopios, (Ramos, 2014). Hoy día están siendo utilizados en segmentos tan diversos como minería, agricultura, forestal, catastro, SIG (Sistemas de Información Geográfica) y ordenamiento territorial, (Moyano, 2014).

El LIDAR surge en los años 70 en los laboratorios de la NASA, con el desarrollo de los sistemas de posicionamiento y navegación, el LIDAR se instauró como una alternativa más para la Cartografía, (Ackerman, Holz, & Frey, 2008). Es la integración de tres tecnologías distintas: la telemetría láser, el sistema de posicionamiento global (GPS) y la medición de movimiento inercial (IMU). Además de un Software especializado calcula las coordenadas XYZ de cada dato, (Beasy, 2016).

El escaneo láser aerotransportado y los sistemas de fotogrametría aérea se han convertido en herramientas clave para la recopilación de información sobre las superficies de la Tierra. La información derivada de los datos de LIDAR y las imágenes permite una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la generación de MDE (Modelo Digital de Elevaciones), (Jiazhi, Guoqing, Xhinchén, & Wei, 2011). Aunque LIDAR proporciona modelos digitales del terreno más precisos que los que se generan por técnicas de fotogrametría, (Rodríguez Rico, 2009).

El uso de LIDAR en aplicaciones civiles constituye una herramienta para generar modelos en 3D, en inventarios forestales, (Yepéz, 2014), en cartografía y topografía, (Sanchez Lopera & Lerma Garcia, 2012), para evaluar la cantidad de agua existente en cuencas hídricas, (Moreno Baños, y otros, 2011), con el uso de datos LIDAR se han desarrollado softwares de procesamiento de información para construir modelos en 3D en tiempo real con aplicaciones en arquitectura, (Wang,2015)

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la construcción del sistema LIDAR. El cual consta de los componentes electrónicos identificados en la figura 1. Los sensores que fueron seleccionados para incorporar al sistema y que se encargan de obtener los puntos X, Y y Z son principalmente:

- Lidar Lite V2
- GPS u-Blox Neo 6m
- -Acelerómetro MPU6050

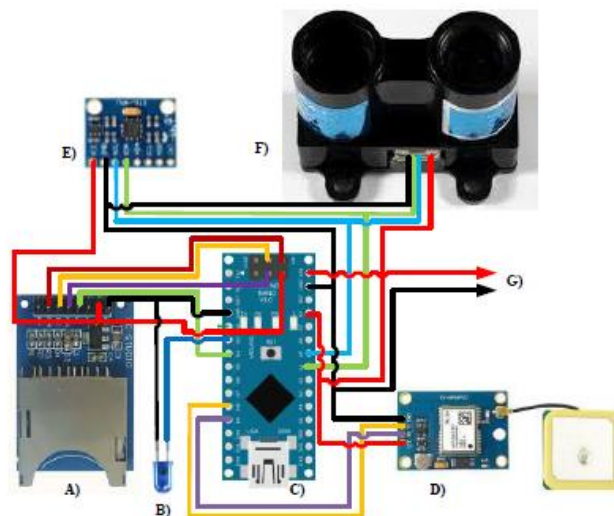


Figura 1 .A) Módulo SD, B) Led indicador de SD, C) Arduino Nano 384, D) Módulo GPS Neo u-Blox 6m, E) Acelerómetro + giroscopio MpU6050, F) LIDAR lite v2, G) Alimentación general.

Se incorpora un GPS para obtener mediciones para las variables X y Y. se incorpora un sensor laser que funciona como un distanciómetro y mide la Z, es decir, la distancia desde



el dron al terreno. Y por último se incorpora un sensor acelerómetro para medir el ángulo de inclinación del sistema LIDAR y corregir errores debido a fuertes inclinaciones. El microcontrolador Atmega 328 es un elemento fundamental y la programación del mismo. El código del sistema se encarga de leer a los sensores y guardar cada lectura en una tarjeta SD, para su procesamiento posterior.

A continuación, se realizaron pruebas de calibración de los sensores integrados en el dispositivo construido, con el objeto de calibrar el sistema se realizó una prueba sobre una superficie con pendiente igual a cero, a una altura conocida y constante. Previamente se llevo a cabo un levantamiento altimétrico con un nivel topográfico para verificar la pendiente del lugar, figura 2.



Figura 2. Nivel topográfico modelo ZAL124.

Utilizando el nivel topográfico se tomaron lecturas para las cotas de un lugar con pendientes distintas a cero. Para este mismo sitio se tomaron lecturas cada 50 cm utilizando el sistema LIDAR desarrollado, se instaló una tirolesa tensada a una altura conocida y a nivel, figura 3. Los resultados obtenidos de este experimento son comparados con los datos obtenidos del nivel topográfico.



Figura 3. Sistema LIDAR.



Utilizando una estación total Sokkia modelo SET63ORK3, se tomaron lecturas en el campo, los datos son comparados con lecturas realizadas posteriormente con el sistema LIDAR, figura 4.



Figura 4. Estación total Sokkia.

Se acopló el sistema LIDAR en el dron Phantom 3 para tomar las mediciones sobre los puntos ubicados (cada 10 m) con la estación total. El dron voló a una altura constante de 5 metros tomando como referencia el dato de telemetría brindado por el mismo, figura 5.



Figura 5. Phantom 3 standard + sistema LIDAR.

## RESULTADOS Y DISCUSION

A partir de la nivelación realizada con nivel topográfico se obtuvo una pendiente de 0.066 % en la superficie seleccionada para la primera prueba del sistema LIDAR. También se realizó un levantamiento de los mismos sitios usando el dispositivo desarrollado, se compararon los valores para cada cota y a través de un gráfico de error, figura 6. El error máximo registrado corresponde a 2 cm y las cotas calculadas a partir de las lecturas del sistema tienen una desviación estándar de 0,0052 cm. Con los datos obtenidos con el dispositivo se calcula una pendiente de 0.046 %. Para la siguiente prueba se instaló una cuerda para obtener lecturas de cotas sobre un terreno irregular a una altura conocida. En

esta prueba se compararon las cotas obtenidas del nivel topográfico y las obtenidas del sistema, como se muestra en la figura 7, en la cual se observa que las mediciones tienen la misma tendencia en torno a las obtenidas con el sistema nivel.

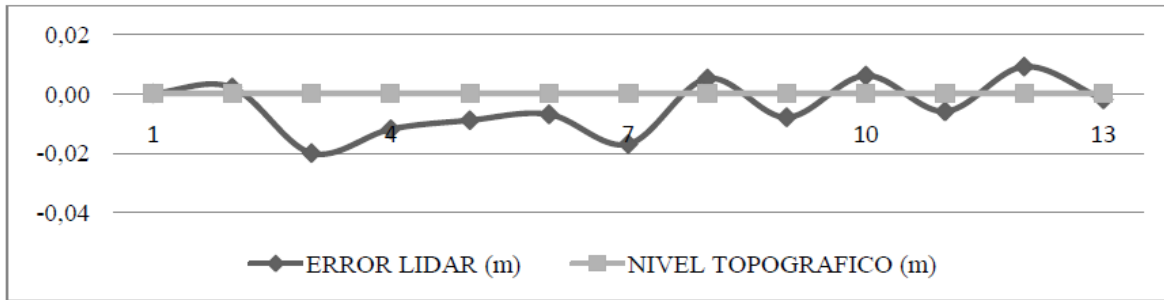


Figura 6. Gráfica de error en superficie con P = 0%.

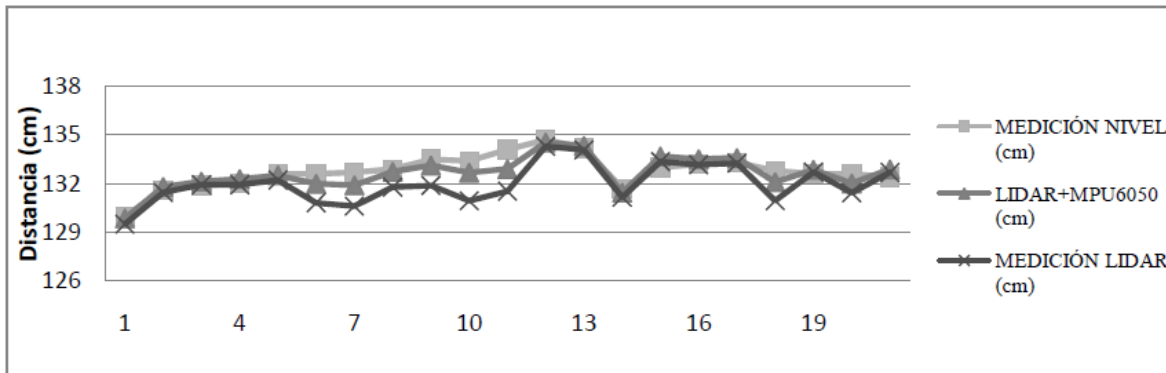


Figura 7. Gráfica de comparación entre cotas.

En la figura 8 se observa que el error máximo corresponde a 1.2 cm y un error mínimo de 0.1 cm. Una desviación estándar de las lecturas del nivel de 1.020 para las lecturas del LIDAR corregidas a través del ángulo con una desviación estándar de 1.037.

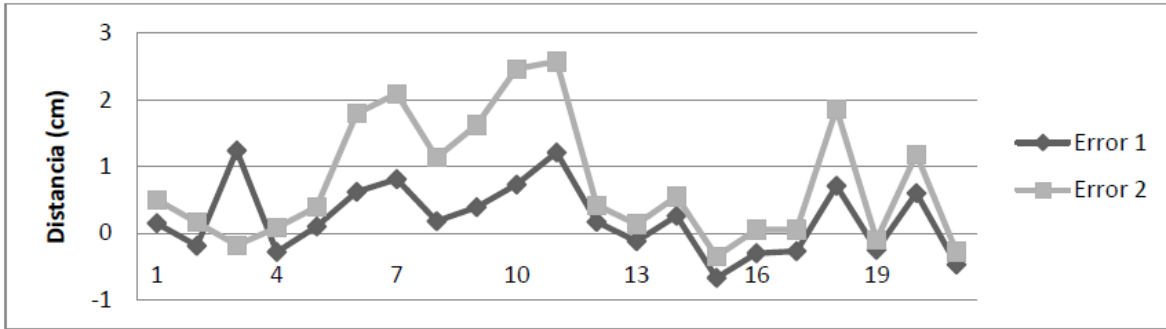


Figura 8. Grafica de error de LIDAR y LIDAR+MPU6050.

Para la tercera prueba realizada al sistema LIDAR se levantaron 22 puntos en el campo, separados a 10 metros cada uno con estación total para comparar las coordenadas geográficas (latitud y longitud) obtenidas con ambos métodos.

En primer lugar en la figura 9, se muestra la comparación de los datos obtenidos para longitud en la que se observa una desviación constante de la gráfica N (ubloxneo) con respecto a la gráfica de N (sokkia), desviación que se traduce en el error entre ambas mediciones. Este error para el punto 1 corresponde a 1.7 metros y para el punto 22 este error corresponde a 17,4 metros. Es decir, que a medida que las muestras de la gráfica de N (ubloxneo) van alejándose más del primer punto, el error se incrementa.

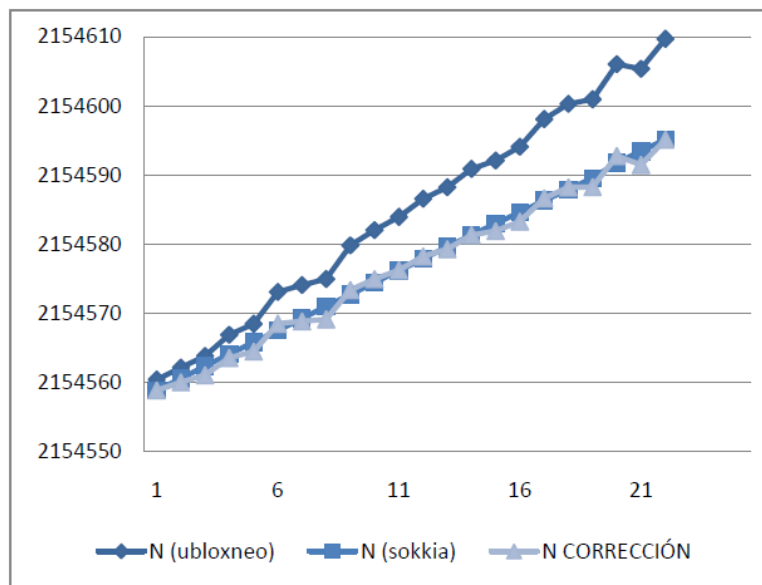


Figura 9. Gráfica de comparación entre longitudes.

Analizando la gráfica de N (ublox neo), se determina la tendencia a través de una aproximación. Se utiliza una interpolación lineal para estimar el error en cada uno de los puntos, como paso siguiente se resta este error a las mediciones obtenidas por el sistema LIDAR y de esa forma se obtiene la gráfica denotada como N CORRECCIÓN. Se establece una función lineal para aproximar los valores de esta variable, la cual resulta ser  $y = 1.7202x + 2154557,2$ .

Para la comparación entre E (sokkia) y N (ubloxneo), también se presenta una gráfica la cual es similar a la anterior a excepción de que el error encontrado va desde 1.8 metros en el punto 1 y hasta 5.0 metros en el punto 22, figura 10. De forma análoga a la gráfica de N CORRECCIÓN se obtiene la gráfica en este caso para CORRECCION E. Se establece una función lineal para aproximar los valores de esta variable, la cual resulta ser  $y = -10,506x + 511809$ .

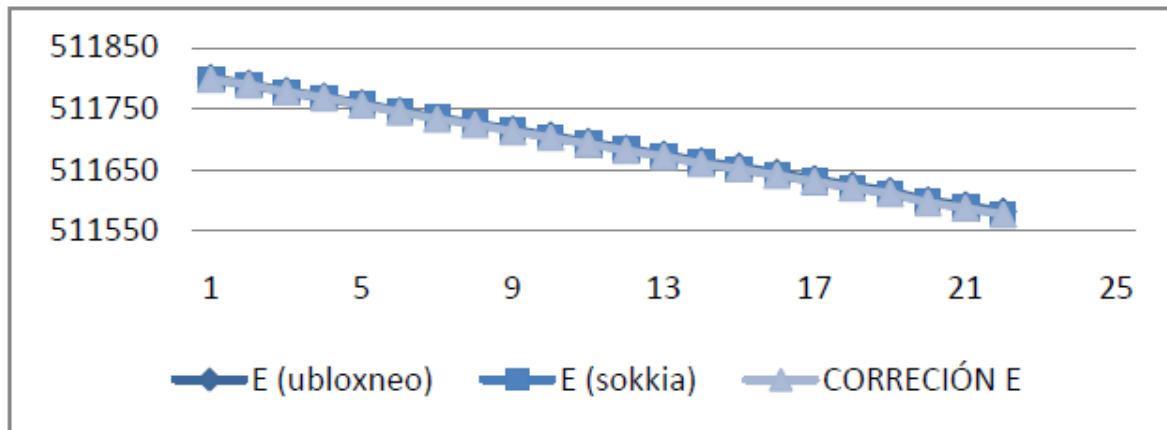


Figura 10. Gráfica de comparación entre latitudes.

De los datos anteriores se obtiene el coeficiente de correlación de Pearson para conocer la relación lineal entre las variables X y Y comparadas a lo largo de este trabajo. El coeficiente de correlación de Pearson de longitud es de 0.997 y el de la latitud es de 0.999.

## CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un dispositivo ligero, de 230 gramos de peso, que puede acoplarse a un vehículo aéreo no tripulado.

La pendiente que se obtiene usando el sistema LIDAR es de 0.046% sobre un terreno prácticamente plano.

El sistema desarrollado es capaz de medir y almacenar datos de variaciones en Z debidos a cambios de altitudes en cotas medidas. Para el experimento realizado con una desviación estándar de 1.037 cm. También es capaz de medir y almacenar datos de variaciones en el X y Y debidos al desplazamiento o cambio de posición mientras es aerotransportado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ackerman, S., Holz, R., & Frey, R. (2008). Cloud Detection with MODIS, part II: Validation.

*Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1073-1086.

Beasy, C. (05 de Abril de 2016). *Mapas Topográficos de LiDAR*:. Recuperado el 05 de Abril de 2016, de Mapas Topográficos de LiDAR::

[http://www.eaglemapping.com/\\_white\\_papers/ESP%20Lidar%20white%20paper%20Mar08.pdf](http://www.eaglemapping.com/_white_papers/ESP%20Lidar%20white%20paper%20Mar08.pdf)

Cabrera, C. A. (15 de Julio de 2015). *Coservación de suelo y agua*. Obtenido de Coservación de suelo y agua: <https://prezi.com/q8lrls1dkzrm/copy-of-surcos-al-contorno-curvas-de-nivel-a-surcado-de-contorno/>

Cardona, M. A. (27 de Julio de 2015). *Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios*. Obtenido de Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicon/R-0025.pdf>

Duan, H., & Li, P. (2014). Bio-inspired Computation in Unmanned Aerial Vehicles. En H. Duan, & P. Li, *Bio-inspired Computation in Unmanned Aerial Vehicle* (págs. 1-13). Berlin: Springer.

Jiazhi, J., Guoqing, Z., Xhinchén, Y., & Wei, S. (2011). Design and implementation of power supply high power diode laser of LIDAR onboard UAV. *Simulation and Vision*.

Moreno Baños, I., Ruiz García, A., Marturia i Alavedra, J., Oller i Figueras, P., Piña Iglesias, J., Martínez i Figueras, P., y otros. (2011). Assessment of airborne LIDAR for snowpack depth modeling. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 95-107.

Moyano, S. (2014). *Diseño y construcción de un Quadcopter*. España.

Perez Nieto, S. (1995). Topografía Aplicada. En S. Perez Nieto, *Topografía Aplicada* (págs. 155- 163). México: UACH.

Ramos, V. (2014). *Diseño e implementación de un Quadcopter basado en microcontrolador Arduino*. Valencia.

Rodríguez Rico, O. O. (2009). *Lidar Vs. Fotogrametría en la Obtención de Modelos Digitales de Elevaciones par Estudios Hidrológicos*. España.

Sanchez Lopera, J., & Lerma Garcia, J. (2012). Actualización de la cartografía catastral urbana mediante LIDAR y SIG. *revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 53-70.

Wang, J. (2015). Integrating BIM and LIDAR for real-time construction quality control. *Springer*, 417-432.

Yepéz, F. D. (2014). Mapeo del arbolado urbano con LIDAR aéreo. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*, 58-75.

## COMPARAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO POR MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA E RANDOM FOREST

Felipe Bernardes Silva <sup>(1)</sup>, Laura Thebit de Almeida <sup>(2)</sup>, Pedro Henrique Santos Mota <sup>(3)</sup>,  
Isabela Piccolo Maciel <sup>(4)</sup>, Edson de Oliveira Vieira <sup>(5)</sup> e Silvio Bueno Pereira <sup>(6)</sup>

(1) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (felipe.bernardes.ufv@gmail.com), (2) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (l.thebit@gmail.com), (3) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (pedromota.enf@gmail.com), (4) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (isabelapmaciel@gmail.com), Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil (edsonufmg@hotmail.com) (6) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (silviopereira.ufv@gmail.com).

Atualmente uma vasta gama de modelos hidrológicos encontram-se disponíveis para uso, e as considerações acerca do assunto remetem-se as mesmas dificuldades descritas por Beven (2001), principalmente no que se refere aos dados. Os modelos atualmente disponíveis requerem uma grande quantidade de dados devido ao fato de descreverem os processos de maneira mais completa. Uma das diversas informações recorrentes para este tipo de estudo refere-se ao uso e cobertura do solo, sendo esses dados geralmente obtidos via imagens de satélite. Algumas metodologias têm seu uso já consagrado, como a Máxima Verossimilhança, enquanto outras metodologias têm ganhado destaque, como o algoritmo preditivo, a exemplo destes o Random Forest, que trabalha com árvores de decisões. Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho foi comparar as classificações do uso e ocupação do solo na Bacia hidrográfica do Alto Paracatu, localizada na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco – Brasil, para duas imagens do LANDSAT 5, sensor TM, e uma imagens do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, 2017, realizadas utilizando o algoritmo espacial da Máxima Verossimilhança, no ArcGis 10.5.1, e o algoritmo preditivo Random Forest, no software de livre acesso R. A verificação da acurácia das classificações foi realizada, como base na matriz de confusão, Exatidão total e no Índice Kappa. Como resultado, verificou-se que o algoritmo preditivo Random Forest apresentou melhor resultado considerando a Exatidão global e o Índice Kappa, reforçando que o processo de aprendizado de máquinas pode ser utilizado como metodologia para classificação do uso e cobertura do solo.

Palavras chave: Classificação do uso e cobertura do solo, Algoritmo Preditivo, Random Forest, Máxima Verossimilhança

## INTRODUÇÃO

A informação do uso e cobertura do solo é importante tanto para estudos da dinâmica de nutrientes, risco de degradação do solo, assim como para estudos do comportamento dos recursos hídricos; contribuindo também com possíveis tomadas de decisão como medidas preventivas no seu manejo (HENGL, et al 2015).

O Sensoriamento Remoto e, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão cada vez mais sendo utilizados para o monitoramento do uso da terra, e facilitados em função do avanço tecnológico da computação, com softwares estatísticos de alta velocidade de processamento, aliado a sensores melhor resolução (HENGL et al. 2014; HENGL et al., 2015; BROWN, 2015; SANTOS et al., 2015).

Gerar boa classificação do uso e cobertura do solo auxilia no manejo de propriedades rurais, planejamento urbano e monitoramento de bacias hidrográficas. Em relação a bacias hidrográficas, geralmente, o uso e cobertura do solo é utilizado para delimitação de áreas agricultáveis, áreas destinadas a recuperação e áreas preservação, entre outros.

Contudo, gerar uma boa classificação é algo moroso e sujeito a erros, principalmente, tratando-se de larga escala. Esses erros podem ser definidos como erros de omissão de pixels, ou seja, aqueles classificados como outra classe diferente do discriminado no conjunto treinamento, e erros de comissão de pixels, que se referem a pixels que entram erroneamente em uma classe.

O método de classificação do uso do e cobertura do solo mais utilizado em sensoriamento remoto é o algoritmo da Máxima Verossimilhança (MaxVer). O classificador estima a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma classe à qual ele tem maior probabilidade de associação, considerando um conjunto treinamento definido pelo usuário (ERBERT, 2001; INPE, 2002).

O Random Forest (RF) é um algoritmo de aprendizagem de máquinas que ultimamente vem sendo utilizado como uma ferramenta para classificação de imagens. Entretanto, seu uso para este fim ainda não foi completamente avaliado pela comunidade científica em comparação



com técnicas de reconhecimento de padrões mais convencionais. As principais vantagens do RF incluem: sua natureza não-paramétrica; alta precisão de classificação; e capacidade para determinar a importância variável (RODRIGUEZ-GALIANO, et al., 2012).

Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho foi comparar as classificações do uso e cobertura do solo na Bacia hidrográfica do Alto Paracatu, localizada na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco – Brasil, para duas imagens do LANDSAT 5/TM e uma imagem do satélite LANDSAT 8/OLI, realizadas utilizando o algoritmo espacial da Máxima Verossimilhança, no ArcGis 10.5.1, e o algoritmo preditivo Random Forest, no software de livre acesso R.

### METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo foram utilizadas duas imagens do satélite LANDSAT 5, sensor TM, uma imagem do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, da bacia hidrográfica do Alto Paracatu, localizada na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. As imagens foram solicitadas gratuitamente no Unites States Geological Service (USGS), e adquiridas para os anos de 2006, 2011 (LANDSAT 5/TM) e 2017 (LANDSAT 8/OLI), todas padronizadas para o mês de setembro.

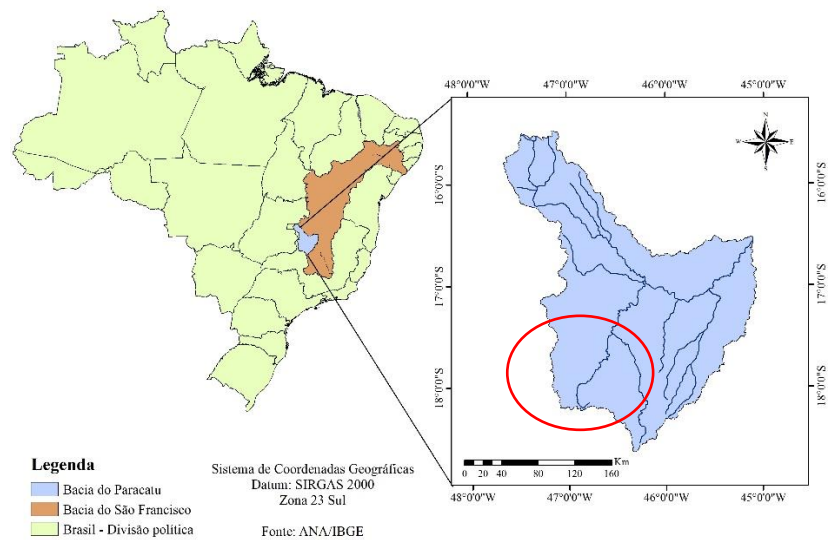


Figura 17 - Bacia do rio Paracatu, em destaque a região do Alto Paracatu.

Foram utilizadas duas cenas, cujas orbita/ponto foram, respectivamente, 220/72 e 220/73. Após o procedimento inicial de projeção das imagens e mosaico, foi feita uma composição colorida com as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do LANSAT 5/TM (2006 e 2011) e com as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 do LANSAT 8/OLI (2017).

Com base nas composições coloridas, dos respectivos anos, foi realizado a coleta das amostras (treino e validação) para cada classe, que foram: Reflorestamento, Vegetação nativa/Mata ciliar, Água, Cerrado/Vegetação esparsa, Pastagem, Agricultura e Solo exposto. Foram gerados índices de vegetação e de relevo para o local de estudo, juntamente com as bandas do LANDSAT. O pacote Random Forest possibilita a entrada de diversos rasters, que compõe a árvore de decisão do modelo. Após uma análise prévia, o modelo define, dentre todos os índices, aqueles que melhor explicam a variância dos pixels da imagem, assim sendo, os selecionados são utilizados para a classificação da imagem.

Os índices foram gerados no Software SAGA GIS® 2.1.2 e ArcGis® 10.5.1, que constam nos seguintes: Channel network base level, Convexity, Cross-Sectional curvature, Curvature, Slope, Euclidean distance of the outorgas, Euclidean distance of the hydrography, Landform, Longitudinal curvature, Maximum curvature, Maximum membership, MDE, Modified catchment area, Morphometric feature, MRRTF, MRVBF, Profile curvature, Plan curvature, Tangential curvature, Texture, Topographic wetness index, Valley depth, Vector terrain ruggedness, Vertical distance to channel network, Terrain ruggedness index, Normalized difference vegetation index, Normalized ratio vegetation index, Difference vegetation index, Corrected transformed vegetation index, Normalized ratio vegetation, Perpendicular vegetation index (1984), Perpendicular vegetation index (Walther and Shabaani), Ratio vegetation index, Soil ajusted vegetation index, Thiam's transformed vegetation index, Transformed soil ajusted vegetation index.

Em seguida foi realizada uma classificação pelos seguintes procedimentos: pelo software R, utilizando o pacote Random Forest, e pelo software ArcGis® 10.5.1, por meio da máxima verossimilhança. Foram testadas três tipos de classificação, 1º) utilizando apenas as bandas do LANDSAT e o Modelo digital de elevação (MDE) como raster auxiliar no software ArcGis® 10.5.1, por meio da máxima verossimilhança - MaxVer Bandas, 2º) utilizando as bandas do LANDSAT e os índices de vegetação e relevo no software R, utilizando o pacote

Random Forest - Random Forest R, e finalmente, 3<sup>o</sup>) utilizando as bandas do LANDSAT e os índices mais significativos (definidos na classificação 2) no software ArcGis® 10.5.1, por meio da máxima verossimilhança - MaxVer Índices R.

A acurácia das classificações foi avaliada por meio da matriz de confusão (CONGALTON, 1991), que permite o cálculo do erro de omissão, erro de comissão, exatidão global, e o índice Kappa (COHEN, 1960).

## RESULTADOS

Dos métodos de classificação do uso e cobertura do solo utilizados o que apresentou pior classificação, foi a Máxima Verossimilhança Aplicando os índices de vegetação e relevo (MaxVer Índice), na qual em todas as análises apresentou índice de exatidão total e Kappa inferiores as demais metodologias (Tabela 1). A metodologia do Random Forest no software R apresentou maior índice Kappa e Exatidão Total nas imagens referentes a 2006 e 2017, enquanto que o método da Máxima Verossimilhança utilizando bandas do LANDSAT (MaxVer Bandas) foi melhor na imagem referente a 2011.

Tabela 1 - Índice de exatidão total e índice Kappa

Imagens	Classificador	Exatidão Total	Kappa
2006	Random Forest R	98,20	97,90
	MaxVer Bandas	98,06	97,73
	MaxVer Índices R	76,8	72,85
2011	Random Forest R	97,07	95,577
	MaxVer Bandas	97,48	97,06
	MaxVer Índices R	96,27	95,64
2017	Random Forest R	96,91	96,39
	MaxVer Bandas	96,35	95,74
	MaxVer Índices R	81,79	78,71

Observando os Erros de Comissão e Omissão (Tabela 2), no ano de 2006 a metodologia do Random Forest superestimou a classe do Reflorestamento, classe que apresentou maior erro de comissão, agregando pixels, principalmente, pertencentes da mata Nativa/Ciliar, em que apresentou maior erro de omissão. Já a metodologia do MaxVer Bandas, para esta mesma

classe, foi a que apresentou maior erro de Omissão, em que alguns pixels de validão do reflorestamento foram classificados, como Mata Nativa/Ciliar. Como essas duas apresentam alta densidade de vegetação, a confusão dos pixels era esperada, assim como a classe Pastagem, recebeu alguns pixels da classe agricultura, superestimando a classe da pastagem pelo método de MaxVer Bandas.

Para o ano de 2011, as classes que apresentaram maior confusão foram a Pastagem e a Agricultura. Tratando-se de magnitude, ambas as classes apresentaram menor Erro de Comissão e Omissão quando classificados por Random Forest R, porém, o método do MaxVer Bandas apresentou melhor índice Kappa, sugerindo que de certa forma o dois classificadores apresentam resultados satisfatórios do ponto de vista estatístico.

Em 2017, a classe que apresentou maior Erro de Comissão foi superior na classe de Reflorestamento, para ambas metodologias.

Tabela 2 - Erros de comissão e omissão para as metodologias de classificação.

Imagem	Uso	Random Forest R		MaxVer Bandas		MaxVer Índices R	
		EC	EO	EC	EO	EC	EO
2006	Reflorestamento	<b>6,28</b>	3,72	3,14	<b>4,75</b>	66,43	2,80
	Água	0,24	0,00	0,71	0,00	0,47	0,00
	Mata Nativa/Ciliar	3,45	<b>5,83</b>	4,83	3,04	36,32	31,60
	Cerrado/Vegetação	0,26	0,00	0,00	0,51	0,00	48,55
	Solo Exposto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pastagem	0,83	1,65	<b>4,44</b>	0,58	62,22	0,00
	Agricultura	1,08	0,86	0,43	3,74	0,00	25,48
Imagem	Uso	EC	EO	EC	EO	EC	EO
2011	Reflorestamento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00
	Água	3,70	3,70	0,25	0,25	1,73	0,00
	Mata Nativa/Ciliar	0,00	0,83	2,08	0,00	1,67	0,00
	Solo Exposto	4,10	4,59	0,77	0,26	0,26	2,75
	Cerrado/Vegetação	0,58	0,19	0,00	0,38	0,77	0,39
	Pastagem	<b>5,48</b>	<b>7,24</b>	<b>8,10</b>	<b>9,60</b>	8,81	15,08
	Agricultura	<b>7,78</b>	<b>5,25</b>	<b>6,89</b>	<b>7,51</b>	13,11	8,43
Imagem	Uso	EC	EO	EC	EO	EC	EO
2017	Reflorestamento	<b>14,00</b>	1,28	<b>15,33</b>	0,00	6,89	47,16
	Água	0,00	0,38	0,57	0,00	0,19	1,87
	Mata Nativa/Ciliar	1,56	11,22	1,33	11,20	93,11	45,61
	Solo Exposto	0,23	2,25	0,23	4,62	0,23	11,61
	Cerrado/Vegetação	0,43	0,00	0,22	3,13	0,22	15,94
	Pastagem	3,59	3,34	2,05	4,02	15,64	0,00
	Agricultura	2,48	2,66	5,71	1,98	14,48	7,23

Independente da classificação, para produzir bons resultados é necessária uma amostragem criteriosa. A estimação destas amostras torna-se problemática, uma vez que não são todos os usos que são de possíveis de representação na imagem, o que remete no enquadramento de alguns usos em uma das classes pré-definidas, resultando na omissão de algumas informações da superfície.

Conforme os resultados estatísticos, a classificação por meio do Random Forest foi a que apresentou melhores resultados. Metodologias de aprendizado de máquinas (Machine Learning), como o Random Forest, têm a capacidade de compreender a disposição dos pixels por meio da amostragem disponível, e assim, gerar pesos, segundo a árvore de decisão. Dessa forma, o algoritmo aloca os pixels em cada classe conforme a maior probabilidade de adesão, considerando diversos aspectos da superfície, quer sejam referentes a resposta espectral, quer sejam referentes a aspectos do relevo, tornando a classificação mais acurada.

### CONCLUSÃO

Dentre as três metodologias de classificação avaliadas, a que foi inferior foi a MaxVer Índices R. O Índice Kappa mostrou que a classificação utilizando Random Forest foi melhor para os anos de 2006 e 2017, diferindo-se apenas no ano de 2011, em que a classificação por MaxVer Bands apresentou melhores resultados. Portanto, tanto o Random Forest quanto MaxVer por bandas apresentaram classificações satisfatórias. Porém, de maneira geral, a classificação por Random Forest apresentou melhores resultados, por gerar menor confusão nos pixels de validação, confirmando que esta metodologia apresenta grande potencial para classificação de imagens.

### REFERENCIAS

Brown, P.E. 2015. Geoestatística baseada em modelos, a maneira fácil. Journal of Statistical Software. 2; 63 (12). Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/v63/i12> .

Erbert, M. 2001. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Master Tesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hengl T., Heuvelink G.B.M., Kempen B., Leenaars J.G.B., Walsh M.G., Shepherd K.D., et al. 2015. Mapping Soil Properties of Africa at 250 m Resolution: Random Forests Significantly Improve Current Predictions. PLoS ONE 10(6): e0125814. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125814>

Hengl T.; Mendes de Jesus J.; MacMillan R.A.; Batjes N.H.; Heuvelink G.B.M.; Ribeiro E, et. Al. 2014. SoilGrids1km—Global Soil Information Based on Automated Mapping. PLoS One. 9(8):e105992. pmid:2517117

INPE, 2002. Tutorial SPRING. INPE, São José dos Campos.

Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J.P. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. [ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing](#). Volume 67, January 2012, Pages 93-104

Santos, D.I.P., Araújo, E.O., Pagani, P.C.P., Pagani, C.H.P., Araújo, M.E.B. & Negrão, M.P. 2015. Análise multitemporal de uso e ocupação do solo do núcleo inicial do projeto integrado de colonização Paulo de Assis Ribeiro no município de Colorado do Oeste – RO. Caderno de Geografia, 25(43): 34-51.

## **INFRAESTRUCTURA RURAL Y AMBIENTES PROTEGIDOS**



## AMBIENTE TERMO ACÚSTICO DE CRECHES COM DIFERENTES TIPOLOGIAS PARA ALOJAMENTO DE LEITÕES

**Daiane Cecchin<sup>1</sup>, Francine Aparecida Sousa<sup>2</sup>, Pedro Ivo Sodré Amaral<sup>3</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>4</sup>, Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz<sup>4</sup>, Soraia Viana Ferreira<sup>5</sup> Jaqueline De Oliveira Castro<sup>4</sup>, Cristina Moll Hüther<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Professora, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, [daianececchin@yahoo.com.br](mailto:daianececchin@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Gerente de Limpeza Pública da Prefeitura de Aracruz – Espírito Santo, Brasil, [francine.sousa@ymail.com](mailto:francine.sousa@ymail.com)

<sup>3</sup> Professor na Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, Alfenas –MG, [pedroivosodre@gmail.com](mailto:pedroivosodre@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor (a), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil, PO Box: 3037, [campos@deg.ufla.br](mailto:campos@deg.ufla.br), [patricia.ponciano@deg.ufla.br](mailto:patricia.ponciano@deg.ufla.br), [jaqueline.castro@deg.ufla.br](mailto:jaqueline.castro@deg.ufla.br)

<sup>5</sup> Doutoranda em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, Brasil, [soraiavianazoo@yahoo.com.br](mailto:soraiavianazoo@yahoo.com.br)

<sup>6</sup> Pós Doutoranda em Engenharia de Biosistemas – UFF. Niterói- Rio de Janeiro, Brasil, [cristinahuther@yahoo.com.br](mailto:cristinahuther@yahoo.com.br)

**Resumo** - Estudos têm demonstrado que níveis de ruídos e temperaturas acima do recomendado para suínos em fase de creche podem afetar a produção, a saúde e o bem-estar dos animais, bem como dos trabalhadores. Objetivou-se com este trabalho avaliar o ambiente térmico e a pressão sonora no interior de duas creches para leitões com tipologias distintas. O trabalho foi desenvolvido em duas instalações de creche para leitões com tipologias distintas (creche I e creche II) do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais Campus Rio Pomba- MG. Os dados ambientais foram coletados automaticamente, com o uso de dataloggers da marca Hobo, modelo U12-013, com resolução de 0,1°C e acurácia de 0,5 °C, que registraram a temperatura do ar seco, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro, de 5 em 5 minutos, com base nos dados ambientais coletados foi calculado o índice de globo negro e umidade (ITGU). Para a medida do nível médio de ruído (dB) (em duas alturas: animais e trabalhadores) utilizou-se decibelímetro da marca SL-130 (Sound Level Meter). O ambiente térmico no interior das duas creches apresentaram condições consideradas confortáveis para os animais nessa fase. Já os níveis de ruídos encontrados, demonstram que as instalações são adequadas para trabalhadores e animais não provocando problemas ao bem-estar animal.

**Palavras-chave** - ambiência, bem estar animal, construções rurais, suinocultura

## THERMO-ACOUSTIC ENVIRONMENT OF NURSERIES WITH DIFFERENT TYPES OF HOUSING FOR PIGLETS

**Abstract** - Studies have shown that levels of noise and temperatures above the recommended levels for day-care pigs can affect the production, health and well-being of animals as well as workers. The objective of this work was to evaluate the thermal environment and sound pressure inside two nurseries for piglets with different typologies. The work was carried out in two nurseries for piglets with different types (nursery I and nursery II) of the Federal Institute of the Southeast of Minas Gerais Campus Rio Pomba-MG. The environmental data were collected automatically using Hobo dataloggers, model U12-013, with a resolution of 0.1 ° C and accuracy of 0.5 ° C, which recorded the dry air temperature, relative humidity of the air and temperature of black globe, every 5 minutes, based on the environmental data collected was calculated the black globe temperature and humidity index (BGHI). For the measurement of the average noise level (dB) (at two heights: animals and workers) the SL-130 brand (Sound Level Meter) was used. The thermal environment inside the two nurseries presented conditions considered comfortable for the animals in this phase. Already the levels of noise found, show that the facilities are suitable for workers and animals without causing problems to animal welfare.

**Index terms** - animal welfare, environment, rural constructions, swine farming

### INTRODUÇÃO

Adequar as instalações e o desempenho dos animais frente às variações meteorológicas é um desafio permanente dentro da suinocultura. O ambiente térmico no interior das instalações possuem grande influência no desempenho dos animais (Kiefer et al., 2010)

Proporcionar um ambiente de qualidade, com controle sanitário adequado e confortável é fundamental para um adequado desenvolvimento dos leitões na fase de creche. (Kummer et al., 2009).

Outro parâmetro importante no que se refere ao ambiente de criação animal é a pressão sonora. Suínos vocalizam em várias situações e sua expressão vocal é citada como padrão de reconhecimento de estado de bem-estar, frustração ou sofrimento. A vocalização pode ser utilizada para aferir as condições em que o animal está exposto (Tolon et al., 2010).

A avaliação do ruído ambiente é uma ferramenta significativa para avaliação das condições de bem-estar animal (Silva et al., 2007). Destaca-se ainda que a exposição aos ruídos em instalações de animais pode causar perda auditiva nos trabalhadores expostos a este tipo de agente (Sampaio; Nääs; Nader, 2005).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o ambiente térmico e a pressão sonora no interior de duas creches para leitões com tipologias distintas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em duas instalações (distintas em aspectos construtivos) de creche na suinocultura do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - Campus Rio Pomba, com altitude média de 434 m, definido pelas coordenadas geográficas de 21° 16' 45" de latitude sul e 43° 10' 30" de longitude oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é Cwa (quente, temperado, chuvoso, com estação seca no inverno e verão quente).

O experimento foi conduzido durante o período de inverno e em duas creches com dimensões e tipologias diferentes. A Creche I constituída com piso de concreto, duas janelas de 1,64 x 1,87m, metade de piso ripado. A Creche II era totalmente suspensa de piso ripado, com janela de 3,80 x 1,80m. Em cada instalação estavam alojados 37 leitões com peso médio de 20 kg. Para a coleta dos dados do ambiente térmico ambiente foram instalados no interior das instalações sensores que coletavam automaticamente os valores, com o uso de *dataloggers* da marca Hobo, modelo U12-013, com resolução de 0,1°C e acurácia de 0,5 °C. Esses registraram a temperatura do ar seco, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro,

de 5 em 5 minutos. Para a obtenção das temperaturas de globo negro, foram utilizados sensores acoplados a *dataloggers* colocados no interior dos globos negros. Os instrumentos de coleta de dados ambientais posicionados no interior das instalações a 0,60 m do solo.

Em função dos dados ambientais coletados foram calculados os índices ITU e ITGU.

O índice ITU foi calculado por meio da equação 1 (Thom, 1958):

$$\text{ITU} = T_{bs} + 0,36 * T_{po} + 41,5 \quad (1)$$

em que:  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco;  $T_{po}$  é a temperatura de ponto de orvalho, expressas em °C.

Já o ITGU foi obtido pela equação (2) criada por Buffington et al. (1981).

$$\text{ITGU} = T_{gn} + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (2)$$

em que:  $T_{gn}$  é a temperatura do globo negro;  $T_{po}$  é a temperatura do ponto de orvalho, ambas expressas em K.

Para a determinação do nível médio de ruído (dB) utilizou-se decibelímetro da marca SL-130 (Sound Level Meter). O instrumento possui resolução de 0,1 dB. O ruído foi coletados em quatro horários distintos (8:30; 11:00; 13:30 e 16:00 h) dentro de cada instalação e em duas alturas (animais e do trabalhador (1,50 m do solo)).

Os dados dos índices de conforto térmico e ruídos foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste “F” e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ruído ao nível dos animais não apresentou diferença significativa em nenhum dos horários avaliados e em nenhuma das duas creches (Tabela 1).

**Tabela 1 - Valores médios ruído na altura dos animais e na altura do trabalhador, para as respectivas combinações de horários avaliados nas duas creches (I e II).**

Tratamento	Parâmetro	Horário			
		8:30	11:00	13:30	16:00
Creche I	Ruído altura dos animais	64.37 a	69.25 a	66.50 a	68.12 a
Creche II	Ruído altura dos animais	64.93 a	65.00 a	67.56 a	68.31 a
Creche I	Ruído altura do trabalhador	59.87 a	61.25 a	61.50 a	62.37 a
Creche II	Ruído altura do trabalhador	60.12 a	55.37 b	62.75 a	60.00 a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Já com relação ao ruído na altura do trabalhador obteve-se diferença significativa entre horários na creche II, sendo observado o valor mais baixo no horário das 11:30 h em comparação com os demais. Apesar de ter ocorrido diferença significativa em uma das instalações (entre os horários avaliados) observa-se que nenhuma das instalações obteve resultados superiores aos indicados como limite pela norma NR-15 do Ministério do Trabalho e Emprego (1978) podendo-se considerar o ambiente salubre.

Com relação à temperatura do ar, os valores não diferiram entre si (Tabela 2). Os valores médios observados estão próximos aos mencionados como temperatura ideal para leitões, sendo nas primeiras semanas de alojamento de 24 °C em torno de 20 °C nas últimas (Nääs et al., 2014; Silva, 1999)

**Tabela 2 - Valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar índice de umidade e temperatura (ITU) e índice de umidade e temperatura de globo negro (ITGU) para as duas creches avaliadas.**

Tratamento	T <sub>bs</sub>	UR	ITU	ITGU
Creche I	23.1 a	75.6 a	70.9 a	72.4 a
Creche II	22.5 a	76.7 a	70.2 a	70.4 a

Tbs: Temperatura de bulbo seco; UR: Umidade Relativa do ar. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A umidade relativa (UR) média não diferiu entre as instalações, sendo observados os valores de: 75,6 (I) e 76,7 (II), os valores encontrados estão dentro da faixa citada por ASAE (2000) como ideal para essa fase de criação (50-80%).

Ambos índices para avaliação do conforto térmico (ITU e ITGU) não deferiram entre si. Os valores de ITGU estão compreendidos dentro da faixa considerada como conforto térmico por Campos et al. (2008), porém abaixo do recomendado por turco (1995) que cita o valor de ITGU de 80 para os leitões.

### CONCLUSIONES

Os valores médios de níveis de ruídos no interior das instalações mostraram-se adequadas para trabalhadores e animais não provocando problemas ao bem-estar animal.

De forma geral, o ambiente térmico nas duas creches estudadas, apresentaram condições consideradas confortáveis para os animais nessa fase.

As diferenças nas tipologias das creches não resultaram em ambientes diferentes, proporcionaram no geral o mesmo nível de conforto térmico para os leitões, podendo ser opção de utilização para as suinoculturas.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asae. American Society Of Agricultural Engineers. (2000). ASAE D497.4: agricultural machinery management data. 47th ed. St. Joseph: ASAE, p.350-357.

Brasil. (1978). *Ministério do Trabalho, Norma Reguladora NR-15, Portaria nº 3.214 de 8 de Junho de 1978: Normas regulamentadoras relativas à segurança e medicina do trabalho*. In: Manual de legislação de atlas de segurança e medicina do trabalho, 33.ed., São Paulo: Atlas,. 523p.

Buffington, D.E.; Collazo-Arocho, A.; Canton, G.H.; Pitt, D.; Thatcher, W.W.; Collier, R.J. (1981). *Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows*. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714.

Campos, J. A. et al. (2008). *Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche*. Rev Ceres, v.55, p.187 - 193.

Kiefer, C. et al. (2010). *Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos*. Rev. Bras. Saúde Prod. An., v.11, n.2, p. 496-504.

Kummer, R. et al. (2009). *Fatores que influenciam o desempenho dos leitões na fase de creche*. Acta Scientiae Veterinariae, v. 37, p. 195- 209.

Nääs, I. A. et al. (2014). *Conceitos de Ambiência na definição de instalações em suinocultura*. In: Produção de suínos: Teoria e Prática, 1ª ed. Brasília, p. 869-876.

Sampaio, C.A.P.; Cristiani, J.; Dubiela, J.A.; Boff, C.E.; Oliveira, M.A. (2004). *Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais*. Ciência Rural, v.34, n.3, p785-790.

Sampaio, C.A.P.; Nääs, I.A.; Nader, A. (2005). *Gases e ruídos em edificações para suínos: aplicação das normas NR-15, CIGR e ACGIH*. Engenharia Agrícola, v.25, n.1, p.10-18.

Silva, K. O.; Nääs, I.A.; Tolon, Y.B.; Campos, L.S.L.; Salgado, D.D. *Medidas do ambiente acústico em creche de suínos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 3, p. 339-344, jun. 2007.

Silva, I.J.O. (1999) *Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos*. In: Seminário Internacional De Suinocultura, 4., São Paulo. Anais... Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, p.108-325.

Sousa, P. (2004) *Conforto térmico e bem-estar na suinocultura*. I. Lavras: UFPA, 69p.

Tolon, Y. B. et al. (2010). *Ambiência térmica aérea e acústica para reprodutores suínos*. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p. 1-13.

Turco, S.H.N. (1995). *Modificações das condições ambientais de verão, em maternidade de suínos*. 58f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência)- Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

Thom, E.C. (1958). *Cooling degrees - days air conditioning, heating, and ventilating*. Transactions of the ASAE, v.55, n.7, p.65-72.



## DESARROLLO RURAL INTEGRADO Y SOSTENIBLE: CASO PERUANO

INTEGRATED AND SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT: PERUVIAN CASE

**Hashimoto Moncayo Ernesto Edmundo. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. [erhamo@yahoo.com](mailto:erhamo@yahoo.com). 979057265. Perú**

### RESUMEN

Existe mucho interés por parte de académicos, gobernantes y ONGs en mejorar las condiciones de vida del poblador rural de un país. A lo largo de siglos, se han generado innumerables propuestas con este fin, sin embargo, los resultados alcanzados son insatisfactorios. Por ello, se pretende establecer metas con mayor impacto generada por una forma diferente de enfocar, diseñar y planear el desarrollo rural. Este trabajo se realizó en varias etapas. Primero, se elaboró el diagnóstico, un análisis evolutivo del sector agropecuario en el Perú, luego se definieron las características que describen el sector rural, por último, se identificaron las causas más importantes que generan el atraso en el ámbito rural. La segunda etapa consistió en fundamentar un modelo de desarrollo agropecuario. De modo que el principal resultado es la formulación de un modelo teórico, que se concretó en estrategias de desarrollo, como, por ejemplo: La formación de una conciencia social de cooperación, consenso y desarrollo solidario. Fomentar la valorización de lo rural, mediante la promoción y concientización acerca de las oportunidades y potencialidades que ofrece este espacio. Sustentarse en la Investigación y Extensión Agraria, en un proceso de localización adecuada de los cultivos, la infraestructura de apoyo, y la organización de la población rural y los productores agrarios, etc., donde la universidad juega un rol importante.

**Palabras claves:** desarrollo rural, integral, sostenible, participación ciudadana

### ABSTRACT

There is a lot of interest from academics, governors and NGOs to improve the living conditions of the rural population of a country. Over the centuries, innumerable proposals have been generated for this purpose, however, the results achieved are still unsatisfactory.

Therefore, the intention is to set up more impactful goals generated by a different way to approach, design and plan rural development. This work was done in several phases.

First phase: Diagnosis. Diagnosis was elaborated thru an evolutionary analysis of the agricultural sector in Peru. After that, main characteristics that describe the rural sector were defined, and finally, the root causes that generate the backwardness in the rural area were identified.

Second stage was to establish a model of agricultural development. The outcome for this second stage was to formulate a theoretical model, which was concretized in development strategies, such as: The formation of a social conscience of cooperation, consensus and solidarity development. Promote the appreciation of the rural, through the promotion and awareness about the opportunities and potentials that this space offers. Sustain in the Agricultural Research and Extension, in a process of adequate location of the crops, support infrastructure, and the organization of the rural population and agricultural producers, etc., where the university plays an important role.

**Keywords:** rural development, integral, sustainable, citizen participation

## INTRODUCCIÓN

La realidad social, cultural, tecnológica y económica en el Perú rural no ha sufrido grandes transformaciones a lo largo de los años. Las condiciones sustantivas, estructurales, se mantienen impertérritas. El Perú es un país dividido, con grandes brechas desde el punto de vista cultural y económico, donde se observa una realidad rural y una realidad urbana. En la primera, también existe grandes bloques: el sector capitalista y el sector pobre, superviviente.

En la zona rural de la sierra, la actividad económica dominante es la agricultura (también la minería). En la costa se observa un pequeño grupo de capitalistas agrícolas, con todas las ventajas que reciben del aparato político (leyes o decretos que le facilitan su inversión y rentabilidad), del poder económico que les permite comprar la tecnología etc., versus una gran mayoría de agricultores con condiciones adversas para desarrollar una agricultura rentable.

La agricultura hoy en día es fuente principal de ingresos de 2.3 millones de familias que representan el 34% de los hogares peruanos; genera aproximadamente el 7.6% del Producto Bruto Interno (PBI), teniendo un peso en la producción regional que oscila entre el 20% y el 50% (excluyendo Lima). En los últimos años la agricultura ha mostrado gran dinamismo, promovida por el desarrollo de la agroexportación (la cual creció a un ritmo de 14.5% anual desde el año 2000). Sin embargo, la agricultura ha crecido a un ritmo menor que la producción nacional (3.74% frente a un 4.4% del total de la economía), lo que ha devenido en una reducción de su peso relativo en la producción nacional. (Libélula, 2011). Casi el 100% de la agricultura de la costa y aproximadamente un 40% de la agricultura de la sierra es de riego (Zegarra y Orihuela, 2005), el resto y en casi toda la selva es agricultura de secano.

La política sectorial aplicada al desarrollo rural generalmente fue cortoplacista, intervencionista e insuficiente para compensar las distorsiones macro y microeconómicas. El objetivo de la política agrícola peruana diseñada en este contexto apunta a “transformar [la] agricultura de subsistencia en un sector eficiente y competitivo [...], para revertir [...] el abandono histórico al que ha estado sometida la agricultura andina por parte del Estado y de la sociedad civil (Libélula, 2011). Sin embargo, en la realidad se promovió en exceso la política de importación, más que la de promoción.

Pero, solo analizando los resultados obtenidos en los últimos años, se colige, que esta fracasó desde el punto de vista de la producción general, rentabilidad general y del efecto en el nivel de vida del poblador, dejando no solo una secuela negativa en la parte económica sino además social y técnica (se indica el fracaso a nivel general, ya que la agricultura de grandes capitales/para exportar la rentabilidad es mayor). Las políticas comerciales también fueron nefastas, favoreciendo a los intermediarios antes que, al productor, disminuyendo la capitalización del agro y su importancia en la economía global. Hoy en día, con la firma de los Tratados de Libre Comercio, la política agrícola se subsume en el impacto de estos acuerdos bilaterales (Hashimoto, 2010).

De acuerdo con Trivelli, Remy, De Los Ríos y Lajo (2010), los proyectos que han tenido más éxito y mayor arraigo en la población, han sido aquellos con enfoques innovadores, que tienen en común:

- Son participativos
- Atienden una demanda real de los productores
- Tienen un enfoque de conjunto de la economía campesina
- Promueven la articulación de los hogares con el mercado.
- Apuntan a atacar cuellos de botella claros e identificables
- Promueven el desarrollo de capacidades para garantizar la sostenibilidad en el mediano y largo plazo.

A partir de las experiencias exitosas en el mundo, que por supuesto deben diferenciarse a partir de los distintos contextos sociocultural y económico, se logran definir tres estrategias: estrategias de valorización, de articulación y de provisión. Partiendo de estas premisas, los objetivos de este trabajo es caracterizar el sector agrario, identificar las condicionantes que generan atraso, y, por último, desarrollar un modelo explicativo junto a las propuestas prácticas para transformar el ámbito rural y conducirlo al desarrollo.

## **MATERIALES Y METODOS**

Para lograr los objetivos planteados se plantearon formas de abordar que se ajustaran a esas exigencias. Para alcanzar el primer objetivo se combinó la revisión de documentos y las entrevistas a profundidad de 10 académicos, 5 funcionarios públicos ligados al agro y 30 agricultores representativos de las distintas zonas agrícolas (pequeños y medianos), con la intención de sobrepasar el aspecto fenomenológico del estudio (que lo dan las cifras) y adentrarse a las esencias del problema. Para lograr el segundo objetivo, se procedió a combinar el análisis reflexivo del investigador (uso de la hermenéutica), junto a la información brindada por otros investigadores y agencias de cooperación. Para cumplir el tercer objetivo, fue un completo proceso de introspección a partir de las opiniones brindadas por agricultores y propuestas de otros investigadores.

Es bueno remarcar el proceso histórico que enmarca la realización de este trabajo, tiene un proceso de construcción de hace 10 años, donde se trabajó con 10 académicos, 10 funcionarios y 50 agricultores; se acepta de antemano que podrían no ser lo suficiente para tener conclusiones contundentes, sin embargo, reafirma una tendencia que es bueno y necesario considerar. En segundo lugar, se parte de la premisa que la separación de ciudad y campo es artificial y artificiosa, se entiende que pretender desarrollar un espacio requiere necesariamente el tratamiento del otro, los dos están en una permanente relación dialéctica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### DIAGNÓSTICO

El diagnóstico del agro en el Perú se muestra a través de algunas cifras sacadas en diferentes documentos del Ministerio de Agricultura, pero lo más importante es el análisis sobre ciertos aspectos estructurales difícilmente perceptibles.

- a. Escasez de tierras para uso agrícola. El Perú solo tiene el 3.5% de área agrícola respecto al área territorial total (o sea 4, 4 millones de has.) y, por tanto, le corresponde 0,15 ha/per cápita, a diferencia de otros países como Argentina que tiene 0,78, o Paraguay con 0,59. La velocidad de incorporación de nuevas tierras de cultivo es menor que el aumento demográfico. La Superficie total equipada para riego (% superficie cultivada) es casi el 28%. Toda esta información muestra el enorme potencial de crecimiento.
- b. Lenta incorporación de tierras al proceso productivo que no compensa la pérdida del número de hectáreas por salinización, erosión. El análisis histórico muestra que se han salinizado aproximadamente 400,000 has en la costa, y se han perdido por erosión aproximadamente 140 millones de hectáreas generalmente en la sierra y selva; por lo que el número “relativo” y calidad de las tierras productivas van decreciendo.
- c. Acelerado proceso de “urbanización” marginal de las ciudades y de los propios asentamientos rurales, disminuyendo las áreas de cultivo.

- d. Limitado crédito agropecuario, y por lo tanto poca inversión en bienes de capital y tecnología. 2.3 millones de familias que representan el 34% de los hogares peruanos viven de la agricultura, y generan el 7.6% del Producto Bruto Interno (PBI). El crecimiento en la producción agrícola se da por las grandes inversiones de grandes grupos económicos, en cultivos de exportación o que son insumos, por ejemplo, la caña de azúcar para la gasolina, o el algodón para textiles, la palma para aceites etc.
- e. Problemas de la tenencia y uso de tierras. Es vital la titulación para el desarrollo rural pues fomenta la capitalización. Pero, habría que tener cuidado con este fenómeno, debido a que la pobreza, podría generar un mercado malsano de tierras.
- f. Deficiencias en la comercialización, ya que no se promueve y organiza las cadenas productivas y de valor.
- g. Uso irracional de los recursos: agua, suelo y flora, que provoca pérdida del buen suelo agrícola, y por persistir en cultivos que técnicamente no son adecuados hidrológica y edafológicamente, como por ejemplo el arroz y la caña en la costa norte del Perú.
- h. Políticas de precios y arancelarias no promotoras del desarrollo interno del agro afectadas por la injusta relación ciudad-campo.
- i. Deficiente sistema organizativo y empresarial de los productores ligados al agro.
- j. La mecanización agrícola es insuficiente: La FAO recomienda mínimamente 0,50 HP/Ha., solo se cuenta con 0,23 HP/Ha. Además, el uso de la tecnología es insuficiente para las otras prácticas en el cultivo, lo mismo que para el manejo post cosecha.
- k. En el plano socio – cultural, las condiciones del ámbito rural son:
  - La mayor parte de la población rural es la menos instruida, y por ende tradicional y conservadora.
  - La mayor parte población es la más pobre (Huancavelica con el 70% de la población y en la costa el promedio es de 40 %, etc.) y la agricultura que asegura los alimentos a la ciudad es la actividad económica menos rentable y de alto riesgo (B/C= 1.1 promedio).
  - La mayor parte de la población son los más desorganizados sociopolíticos y empresarialmente.

Por otra parte, las autoridades de todos los niveles, quienes toman decisiones capaces de transformar la geografía socio – económica del país rural, son generalmente ciudadanos, y tiene una grave crisis de comunicación con los habitantes de la zona rural, de modo que sus mensajes no calan o impactan en la medida que se requiere para lograr mejoras sustantivas.

## **ALGUNOS CONDICIONANTES QUE GENERAN EL ATRASO EN SECTOR RURAL.**

Las condicionantes coyunturales son señaladas por todos los especialistas a la hora de “recetar” soluciones. Algunos ejemplos son: el bajo nivel tecnológico en la agricultura (desde la mecanización hasta la automatización del riego), el escaso financiamiento, el minifundismo excesivo, etc., estas condicionantes son fácilmente aceptables, pero tienen el serio problema al homogenizar la solución, ser “soluciones” inorgánicas, sectorizadas, y su preocupación es el crecimiento, devaluando la calidad de vida del poblador y la sostenibilidad del medio ambiente.

Las condicionantes que definen el atraso del sector rural son las estructurales, estas no son fácilmente visibles por el común de las personas, pero que impactan grandemente en las políticas y por ende en la rentabilidad y calidad de vida del poblador rural. Entre ellas están:

- **Modelo de desarrollo agrario actual:** Un modelo que privilegia las actividades económicas extractivas y primarias, y desdeña las actividades que generen niveles de transformación. Que fomenta las grandes inversiones privadas como premisa de desarrollo, y beneficia los grandes capitales, y a la parte del pueblo que accede al trabajo (masivamente obreros o peones del agro) con sueldos bajos. Un modelo donde el Estado facilite con infraestructura (capital de riesgo) a los grandes inversionistas, y con leyes de “promoción” (ejemplo bajar o eliminar los aranceles para adquirir bienes de capital), que solo favorecen a aquellos que pueden adquirirlos y que el hacerlo le resulten rentables. Un modelo donde el Estado promueve las grandes irrigaciones, no para “democratizar la riqueza”, sino para servir a la clase plutocrática, Veamos algunos ejemplos que grafican esta aseveración:

- Ejemplo 1. Majes I etapa: se invirtieron con dinero del Estado 914 millones de dólares, para incorporar 15 mil hectáreas (o sea 61,000 \$/ha). Se piensa ejecutar Majes II, y vender las tierras a incorporar en 4,500 dólares la hectárea, y por lotes de 200 hectáreas, si alguien quisiera ser un empresario agrícola debería tener como mínimo casi 1 millón de dólares ¿Cuántos en el Perú podrían tener ese dinero? Otro ejemplo: Chavimochic: Se invirtió casi mil millones de dólares, para incorporar unas 30,000 ha en la primera etapa y unas 12,000 ha en la segunda etapa, vendidas en la subasta 11 en 2005, 4 lotes con 7,500 has., a 518,000 dólares), ejemplo 3. Olmos donde el estado invertirá para las obras de trasvase 77 millones de dólares de un total de 112 millones de dólares, para incorporar 38,000 nuevas hectáreas que serán subastadas. Además, el gobierno regional se compromete a pagar aprox. 26 millones por obras complementarias. ¿¿¿para qué y para quién??? Si las tierras a irrigar serán vendidas a \$ 4,200 / has., y por lotes de 500 has como mínimo ¿Quién podría pagar entre 2 a 4 millones de dólares para ingresar a la actividad económica agrícola? En síntesis, modelo agrícola donde el Estado invierte tanto dinero, sólo para favorecer al gran inversionista.

Un modelo que viola la “soberanía predial”, asociada a la seguridad alimentaria. Los grupos empresariales extranjeros compran, por ejemplo, 1000 has de terreno, indirectamente están añadiendo a su país de origen esa extensión y eliminando esa porción a nuestro país. O para cultivar productos que en sus países no usar tanta cantidad de agua o de tierra para sembrar productos que industrializaran para producir un combustible.

- **Injusta relación ciudad – campo** en contra del ámbito rural. La ciudad tiene organizaciones mejor organizadas que presionan para tener alimentos baratos. Si el campo no se los ofrece importan. Precios menores, baja rentabilidad, poca tecnologización. Esto explica porque la actividad agropecuaria alimentaria se “subsida” en los países desarrollados.



- **El chauvinismo por la Agricultura NO TRANSGÉNICA.** Ante el siguiente escenario para el 2050 “ALIMENTAR A 10,000 millones de personas, MENOR AREA PRODUCTIVA por la creciente urbanización (salinización, erosión), efectos del CAMBIO CLIMÁTICO más acentuado, escasez de AGUA, y exigencia por mayor RENTABILIDAD, la práctica de una agricultura ecológica y tradicional tiene límites para afrontar esta nueva realidad. Se probó el uso de la tecnología externa a la planta, solo queda la aplicación de la tecnología a la planta, para: Aumentar la capacidad productiva del ser vivo (la planta) y con ello elevar el rendimiento por unidad de área. Reducir el consumo de plaguicidas, pesticidas, fertilizantes y soportar mejor el estrés hídrico y los herbicidas a través de la implantación de genes para esos efectos. Reducir la emisión de dióxido de carbono y otros contaminantes, consumiendo menos combustible fósil en la producción y aplicación de insecticidas, herbicidas etc.
- **Modelo que deja de lado al hombre del campo.** Este modelo considera al hombre rural como un recurso de la actividad productiva, una cosa del que solo se preocupa como mano de obra eficiente o deficiente, como un medio del que solo hay que conocer su rendimiento, su costo y su capacidad organizativa. El modelo no comprende que la agricultura es una forma de vida (más allá de ser una actividad económica), no comprende que el agricultor y su familia no solo son un medio sino un fin de toda actividad. Por tanto, no ha considerado las características estructurales que configuran al agricultor, que son:
  1. Vivir moldeado con el instinto de supervivencia.
  2. Limitado desarrollo intelectual.
  3. Desconfianza ancestral.

## MODELO PROPUESTO

### Posición epistemológica de la propuesta.

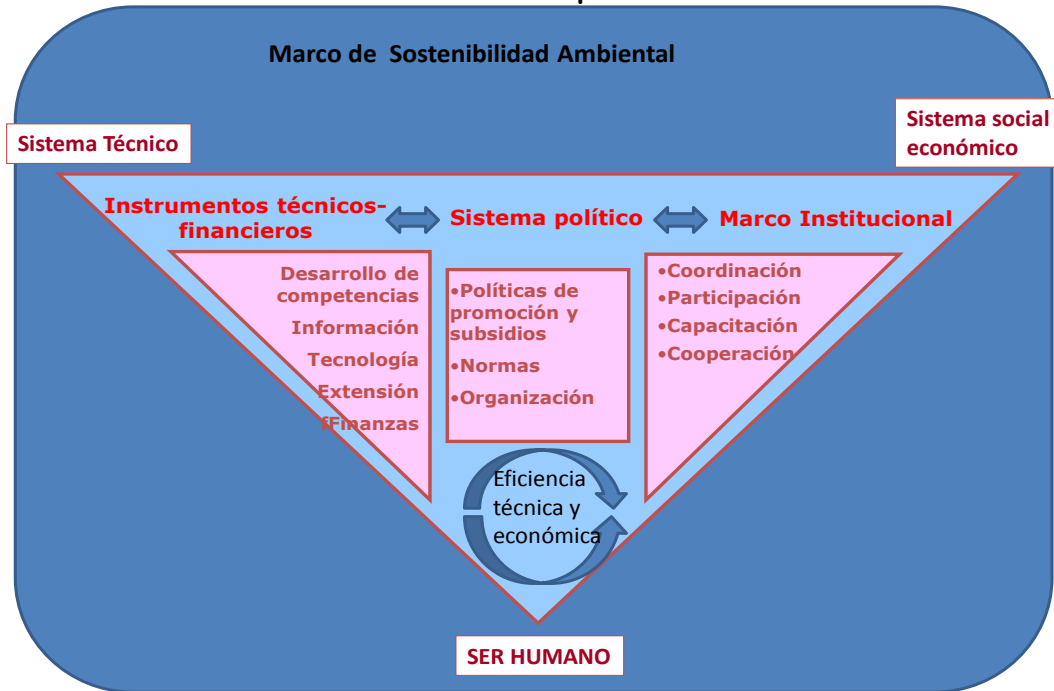
- La fuente de información debe ser mixta.

- El Desarrollo agrario sostenible es un concepto Antropo-Cultural, que se constituye en un proceso – estado. Tiene una dimensión técnica-económica que se sujeta a dimensión social-humana.
- Las soluciones posibles deben ser productos de la interacción entre los sujetos poseedores del poder (político y académico) y la sociedad participante.
- Los procesos agrícolas deben ser manejados como polisistemas.

### **Premisas del modelo**

- El fundamento del modelo es desarrollar al hombre y mujer del campo.
- La sostenibilidad se da en la participación de todos los actores del agro.
- El estado debe cumplir su rol promotor, y subsidiario solo en las actividades agropecuarias no rentables necesarias que aseguran la alimentación de la población. Además, buscar políticas orientadas a elevar la producción y la productividad de alimentos de origen agrícola.
- Debe existir una interrelación fluida de los espacios y actividades en los niveles macro y micro del país, promoviendo el desarrollo desde adentro y las ventajas comparativas.
- La actividad agropecuaria no solo debe ser un modo de vida, sino también un negocio rentable, de modo que así se promueva la democratización de la economía.
- El objetivo central debe ser convertir la agricultura de subsistencia en una agricultura moderna y competitiva, eficiente, rentable al largo plazo.

**Gráfica del Modelo teórico para el desarrollo rural**



Nunca debemos olvidar que es el hombre quien opera cualquier propuesta, es el hombre quien es capaz de destruir cualquier sistema, pero también es capaz de construirlo. El hombre no solo está presente en la aparición de un problema, sino también en su solución.

### **Concreción del modelo en Estrategias**

La estrategia es solo un referente, un importante primer paso, es un instrumento con limitaciones, que deberá ser readaptado según lo exija la propia realidad. Las estrategias junto con sus acciones se muestran a continuación (solo uno a modo de ejemplo):

**a. Formación de una conciencia social de cooperación, consenso y desarrollo solidario. Fomentando la valorización de lo rural, mediante la promoción y concientización acerca de las oportunidades y potencialidades que ofrece este espacio.**

**Objetivo:** Que todos los actores sociales, políticos y económicos ligados con el desarrollo de sus regiones, estén sensibilizados para trabajar en cooperación con un modelo de desarrollo adecuado a su realidad, que explote sus ventajas comparativas y competitivas.

### **Tareas:**

- Crear comisiones de coordinación compuesta por representantes de las fuerzas sociales, económicas, políticas y educativas, para que estructuren un modelo de desarrollo y un programa de sensibilización de trabajo en equipo.
- Comunicar a la población en general y a la rural en particular, las bondades del modelo, y obtener la participación y el compromiso de todos para llevarla a cabo.

**Resultados:** Formación de comisión pluri – institucional, Generar un Modelo de desarrollo rural, Lograr un plan de acción para forjar una nueva conciencia ciudadana

**Responsables:** Gobierno Regional, ONGs, Universidades, gremios y medios de comunicación.

- b. Financiamiento de la Agricultura y Promoción de la Inversión Privada.
- c. Investigación y Extensión Agraria
- d. Localización adecuada de los cultivos, la infraestructura de apoyo.
- e. Concentrar y especializar la producción agropecuaria.
- f. Organizar la población rural y a los productores agrarios.
- f. Implementación de un sistema de información para el desarrollo
- g. Capacitación en técnicas agrícolas adecuadas y formación empresarial al productor agropecuario.
- h. Acondicionamiento territorial para mejorar el hábitat y uso eficiente de los servicios.
- i. Diversificar las actividades económicas en los lugares que sea posible.

### **CONCLUSIONES**

1. En el Perú existe el potencial (en área de cultivo, incorporación tecnológica etc.) para crecer en la producción y productividad.
2. El modelo primario exportador, extractivista, favorecedor de las grandes inversiones es nefasto para el desarrollo rural integral y sostenible.
3. Un modelo de desarrollo que se sustente en el agricultor como hombre, como capital humano en la producción, tiene mayores probabilidades de éxito.

## BIBLIOGRAFIA

1. De Jong Gerardo (2000). *Agricultura peruana de la sierra: una estructura productiva milenaria define las posibilidades del presente*. Neuquén, Argentina: Universidad Nacional del Comahue.
2. Hashimoto E. (2010). *Propuesta para el Desarrollo Rural Integrado y Sostenible en el Perú*. Lambayeque: Editorial UNPRG.
3. ONG Libélula (2011). *Diagnóstico de la Agricultura en el Perú. Informe Final*. Lima: informe para Perú Opportunity Fund.
4. Trivelli, C., Remy, M., De Los Ríos, C., y Lajo R. (2010). *Caja de Herramientas para el Desarrollo Rural a partir de la experiencia peruana*. Lima: Universidad Andina Simón Bolívar e Instituto de Estudios Peruanos.
5. Vásquez Villanueva A. (2000). *La Agricultura Peruana en el Siglo XXI*. Lima: Ministerio de Agricultura.
6. Zegarra, E.; Orihuela, J. C. (2005). *La agenda pendiente en el sector Agricultura. Informe final*. Lima: Informe de consultoría para el Proyecto Crecer.

## ESFUERZO DE FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH PROCEDENTES DEL MUNICIPIO DE PITALITO, HUILA

Eduard Sapuyes<sup>2</sup>, Jesús Osorio<sup>3</sup>, Caori Takeuchi<sup>4</sup>, Mauricio Duarte<sup>5</sup>, Wilson Erazo<sup>6</sup>

### RESUMEN

En las últimas dos décadas, la guadua en Colombia ha cobrado gran importancia debido al interés que ha despertado gracias a su beneficio ambiental, económico y social, siendo una especie vegetal de muy alto crecimiento y de múltiples usos: construcción de viviendas, barreras rompe vientos, cercas, muebles y artesanías. Por esta razón un grupo de docentes y estudiantes del Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana, creó el Grupo de Investigación CONSTRU-USCO, con el fin de empezar a realizar estudios a la guadua angustifolia en el departamento del Huila. El presente estudio se realizó en los municipios de Pitalito y Timaná del departamento de Huila, se aplicó la metodología de la Norma Técnica Colombiana NTC 5300 “Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth”, NTC 5525 “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth” y NSR 10 título G “Reglamento colombiano de construcciones sismo resistente”, evaluando el comportamiento de la resistencia a flexión a la fibra de probetas de guadua angustifolia, en relación a factores como zona, sección del culmo y presencia de nudo, realizada mediante un análisis de varianza multifactorial y determinando el esfuerzo a flexión, módulo de elasticidad, densidad y medición del contenido de humedad para la *Guadua angustifolia* Kunth”. Finalmente se observó que la *Guadua angustifolia* del departamento del Huila presenta un bajo desempeño, con valores de

---

<sup>2</sup> Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana. Km 1 vía Vereda el Macal Pitalito. eduard1229@outlook.com. 3118424843.Colombia

<sup>3</sup> Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana. Km 1 vía Vereda el Macal Pitalito. jesda1194@hotmail.com. 3118265508. Colombia

<sup>4</sup> PhD Ingeniería, Ciencia y Tecnología de materiales. Docente Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. cptakeuchit@unal.edu.co. 3152417835. Colombia

<sup>5</sup> Magister en Ingeniería Civil. Docente Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. maduto@usco.edu.co. 3138449437. Colombia

<sup>6</sup> Magister en Energías Renovables. Docente Universidad Surcolombiana. Av. Pastrana Borrero carrera 1ª Neiva. wjee89@gmail.com. 3184936256. Colombia

esfuerzo admisible y módulo de elasticidad promedio de 13,85 Mpa y 15483 Mpa respectivamente, para contenidos de humedad promedio de 102,2%.

**Palabras clave:** *Guadua angustifolia*, flexión, módulo de elasticidad, multifactorial

## 1. INTRODUCCIÓN

La *Guadua angustifolia* Kunth es un material vegetal que se caracteriza por su flexibilidad, resistencia, economía y fácil obtención en algunas regiones del mundo. Aunque su uso en construcciones es común, y existen metodologías para la evaluación de su resistencia y deformación, es necesario revisarla considerando las condiciones reales del material. (Chavarro, 2016). Según Vélez (2001) “la *Guadua angustifolia* en el área de construcción, es un recurso inagotable, estructural y de servicios en vivienda y otros tipos de edificaciones. Superior al concreto en compresión, además admite grandes deflexiones, por lo que es un material ideal para realizar construcciones sismo resistentes, seguras y económicas”.

El interés en la *Guadua angustifolia* Kunth surgió dada la respuesta estructural de los elementos de este material ante la presencia de sismos, la cual se vio reflejada en el buen comportamiento de las edificaciones del eje cafetero que no colapsaron después de varias actividades sísmicas (Reyes y Rayo, 2014). En la actualidad la guadua en Colombia ha venido mostrando avances importantes en investigaciones sobre su aporte a la conservación del medio ambiente y sobre sus propiedades físico- mecánicas para usos industriales. Con el paso del tiempo, se ha comprobado la importancia de la guadua como alternativa para resolver las necesidades de vivienda. Sus propiedades antisísmicas han despertado admiración y han captado la atención de investigadores, como resultado, se evidencia hasta la fecha el establecimiento de normas y procedimientos los cuales se encuentran en continua revisión, y el progreso en la industria de los laminados; incluso se ha llegado a comprobar que los recursos energéticos necesarios para la construcción de una vivienda, son menores con guadua que con concreto (Villegas, 2005). Capera y Erazo (2012), Duarte, Erazo y Takeuchi (2013), Alarcón y Olarte (2013), Lopez y Salcedo (2016) realizaron investigaciones sobre las propiedades físicas y mecánicas de la guadua en la

zona cafetera del sur del departamento del Huila, faltando determinar el esfuerzo a flexión y el módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* Kunth del municipio de Pitalito-Huila y su variabilidad respecto a las condiciones de sitio.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Localización zonas de estudio.

Se seleccionaron 4 rodales (zona de estudio A, B, C y D), tres de ellos localizados en el municipio de Pitalito y uno en el municipio de Timaná (Tabla 1).

**Tabla 5** Localización zonas de estudio.

PREDIO	VEREDA	MUNICIPIO	COORDENADAS MAGNA-SIRGAS		Altitud (m.s.n.m)
			LATITUD (N)	LONGITUD (O)	
A: La Dalia	Palmarito	Pitalito	1°47'13.80"	76°04'03.40"	1294
B: Villa María	Zanjones	Pitalito	1°50'26.11"	76°01'58.31"	1279
C: La Vega	Pantanos	Timaná	1°54'19.80"	75°58'02.80"	1253
D: Sena Yamboró	Aguadas	Pitalito	1°53'36.00"	76°05'25.10"	1331

### 2.2 Selección y corte de culmos

Se seleccionaron e identificaron las guaduas maduras o hechas (entre 3 y 6 años de edad) que no presentaran daños físicos mediante inspección ocular a los rodales objeto de estudio. Se marcaron con un anillo de pintura naranja a 1 metro de altura a partir del cuello de la guadua. El corte de los culmos se realizó con machete y se hizo a una altura de aproximadamente un metro por encima del suelo. Posterior al corte, los culmos se sometieron al proceso de sangrado o avinagrado en el guadua, durante aproximadamente 2 semanas. Finalizado este proceso, se midieron los tallos y se marcaron en 3 secciones longitudinales: cepa (1,5m), basa (4,5m) y sobre-basa (3,0m); por último, se realizó la caracterización.

### 2.3 Obtención de las probetas

El material fue transportado desde la zona de estudio hasta las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, edificio SINDU y la preparación de las probetas para el ensayo a flexión se realizó según la norma NTC-5525.



## 2.4 Descripción del ensayo.

Se ensayaron 75 probetas a carga máxima para determinar la Resistencia Última a flexión y el Módulo de Elasticidad. Para los ensayos, se utilizaron probetas de la sección media de los culmos. La carga se aplicó lo más cerca posible a los tercios medios de cada probeta (ver figura 1), a una velocidad constante de 0.5 mm/s conforme a lo señalado por la norma NTC 5525. Después de ensayar cada probeta, se seleccionaron muestras de las mismas para evaluar su contenido de humedad y densidad.

**Figura 18.** Modelo de los ensayos a flexión (Rusique, 2007).

## 2.5 Esfuerzo normal a flexión y módulo de elasticidad

Para la determinación del esfuerzo a flexión y módulo de elasticidad de las probetas ensayadas, se tomó como referencia las investigaciones de Prieto y Sánchez (2002) “Comportamiento de la *Guadua angustifolia* sometida a flexión”, y Rusique (2007) “Influencia de la perforación, para inmunización en los tabiques, en el comportamiento de elementos solicitados a flexión de *Guadua angustifolia*”. Para los cálculos se emplearon las ecuaciones 1 y 2.

### ***Ecuación 1: Esfuerzo normal a flexión***

$$\sigma = \frac{32M_{max}D_e}{\pi(D_e^4 - (D_e - 2t)^4)} \text{ Ecu. 1}$$

Donde:

- $\sigma$  : Esfuerzo normal, Pa
- $M_{max}$  : Momento flexionante, N-m
- $D_e$  : Diámetro externo, m
- $T$  : Espesor de la pared, m

### ***Ecuación 2: Modulo de elasticidad***

$$E = m \left( \frac{\alpha}{LI} + \frac{12\beta}{LKA} \right) \text{ Ecu. 2}$$

Donde:

- La expresión en paréntesis depende de la disposición de las cargas aplicadas, la geometría de la sección transversal en el punto donde se tomaron lecturas de desplazamiento, es decir, el centro de la luz y la longitud de la probeta.
- $m$  : Pendiente de la recta Carga Vs. Desplazamiento, dentro del rango elástico

## 2.6 Valor característico y percentil 5

Los datos de resistencia última a flexión y contenidos de humedad, se analizaron de manera exploratoria para excluir valores atípicos, se determinaron valores promedios, mínimos,

máximos y medidas de dispersión mediante análisis descriptivo, con el fin de aplicarlos en las ecuaciones 3 y 4 para el cálculo de valores característicos y percentil 5 respectivamente.

**Ecuación 3: Valor característico. Según G.12.7.4- NSR-10**

$$f_{kc} = f_{0,05i} \left[ 1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right] \text{ Ecu. 3}$$

Donde

$f_{0,05i}$  : Valor correspondiente al percentil 5 de los datos (MPa)

m : Promedio,

s : Desviación Estándar.

n : Número de ensayos.

**Ecuación 4. Percentil 5. Según G.A.1 - NSR-10**

$$f_{0,05i} = Fc * (1 - (1,645 * COVc)) \text{ Ecu. 4}$$

Donde

Fc : Resistencia última a flexión promedio (MPa)

COVc : Coeficiente de variación de la resistencia última a flexión

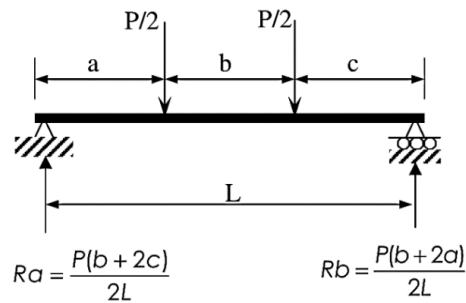
## 2.7 Análisis estadístico (Análisis de varianza simple)

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de varianza simple totalmente aleatorio, donde se evaluaron los valores de resistencia última a flexión de las probetas ensayadas. Previamente se descartaron mediante análisis exploratorio los valores atípicos. Las variables para el diseño ANOVA simple, los factores y niveles de factor se muestran en la tabla 2.

**Tabla 6** Factores, niveles de factor y variable dependiente

Factor	Niveles de Factor	Variable dependiente
Zona	1. La Dalia 2. Villa María 3. La Vega 4. SENA- Yamboró	Resistencia última a Flexión (MPa)

El nivel de confiabilidad mínimo para los resultados es del 95%, los datos se organizaron y procesaron en el software STATGRAPHICS CENTURION XVI (versión evaluación), asumiendo como hipótesis la normalidad, homocedasticidad, Levene e independencia de los mismos.



### 3. RESULTADOS

Se observó que las probetas ensayadas a flexión, presentaron una densidad básica promedio de 1,10 kg/cm<sup>3</sup> con una desviación estándar de 0.036 kg/cm<sup>3</sup> y contenidos de humedad promedio de 102,2% con una desviación estándar de 18,03%. Se descartaron cinco probetas (A17, B2, C11, D4 y D12) mediante análisis exploratorio por presentar valores atípicos, por tal motivo se analizaron 70 probetas en el ANOVA simple; la aleatoriedad en el muestreo, obtención de probetas y ejecución de ensayos, garantizaron la normalidad, la independencia y la heterocedasticidad.

#### 3.1 ANOVA simple

En el análisis de varianza simple presentado en la Tabla 3, se identificó una diferencia estadísticamente significativa entre la media de resistencia última a flexión entre un nivel de procedencia y otro, con un nivel del 95% de confianza, lo anterior debido a que el valor-P de la prueba es menor que 0,05.

**Tabla 3.** Análisis de varianza simple para esfuerzo a flexión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1355,16	3	451,719	7,43	0,0002
Intra grupos	4011,78	66	60,7846		
Total (Corregido)	5366,94	69			

#### 3.2 Análisis de la resistencia última a flexión y módulo de elasticidad

La información necesaria para llegar al cálculo de los valores característicos, resistencia última a flexión promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, esfuerzos admisibles y número de ensayos, se muestra en la Tabla 4, junto con el percentil 5 y los

valores característicos. En la Tabla 5 se muestran los resultados del análisis descriptivo para el módulo de elasticidad.

**Tabla 4.** Análisis Resistencia última a Flexión

Procedencia	La Dalia	Villa María	La Vega	SENA	Total
Casos (n)	19	19	19	13	70
Resistencia última promedio (MPa)	58,34	56,28	54,04	66,78	58,18
Desviación Estándar (s)	7,41	8,52	8,17	6,53	8,82
Coefficiente de Variación (%)	12,71	15,14	15,12	9,78	15,16
Percentil 5 (MPa)	46,15	42,27	40,61	56,04	43,68
Valor característico (MPa)	42,51	38,30	36,80	51,93	41,54
Esfuerzo admisible (Ma)	14,17	12,77	12,27	17,31	13,85

**Tabla 5.** Análisis descriptivo módulo de elasticidad

Recuento	70
E 0,5 Promedio (MPa)	15480
Desviación Estándar (MPa)	1750
Coefficiente de Variación	11,28%
Mínimo (MPa)	10530
Máximo (MPa)	18710
Rango	8190
E 0,05 (MPa)	12560

### 3.3 Modulo de elasticidad en otras investigaciones

En la tabla 6 se observan valores obtenidos de módulo de elasticidad para la *Guadua angustifolia* ensayada a flexión, los mayores valores fueron obtenidos por la investigación de Osorio y Sapuyes (2017). Para confirmar dicha superioridad, conviene mencionar que el contenido de humedad promedio registrado por Lozano et al (2010) fue de 71,04% y por Ardila (2013) de 19,91%, ninguno de ellos superior al 102,2% registrado en este estudio y los esfuerzos admisibles encontrados por Lozano et al (2010), Ardila (2013) y Osorio y Sapuyes (2017) fueron de, 12,46 MPa, 10,19 MPa y 13,85 MPa, respectivamente. Además, se debe tener en cuenta el método empleado para la determinación del módulo de elasticidad, Lozano et al (2010) y Ardila (2013) emplearon la ecuación 5 para su determinación.

$$E = \frac{23 * F * L^3}{1296 * \delta * I_B} \text{ Ecu. 5}$$

Donde:

- $\delta$  : Deflexión en el punto medio de la luz.
- F : Carga máxima aplicada.
- L : Luz libre
- $I_B$  : Momento de inercia.

**Tabla 6.** Valores de módulos de elasticidad de diferentes investigaciones

NSR 10

Ardila (2013)

luz libre de 3,0m

Módulo de elasticidad (MPa)		Lozano et al (2010)		Osorio y Sapuyes (2017)	Prieto y Sánchez (2002)	Rusínque (2007)
Promedio $E_{0.5}$	9500	13904	14933	15483	15393	
Percentil 5 $E_{0.05}$	7500	7829	11586	12557	14916	15151
Mínimo $E_{\text{Mínimo}}$	4000	2996	11440	10526	9286	

Prieto y Sánchez (2002) y Rusínque (2007), implementaron los procedimientos estipulados en la Norma ISO 22157, el primero con valor de esfuerzo máximo a flexión de 58.60 MPa y el segundo con valor de 109,55 MPa a luz libre de 3,0 m. Se observa que se presenta diferencia si se hace la comparación con los datos obtenidos del proyecto tomado como referencia.

#### 4. CONCLUSIONES

Comparando los resultados obtenidos de módulo de elasticidad promedio ( $E_{0.5}$ ), percentil 5 ( $E_{0.05}$ ) y mínimo ( $E_{\text{min}}$ ), en *Guadua angustifolia* proveniente del municipio de Pitalito, Huila ( $E_{0.5}$ = 15483

MPa,  $E_{0.05}$ = 12557 MPa y  $E_{\text{min}}$ = 10526 MPa), con lo estipulados en la NSR 10 ( $E_{0.5}$ = 9500 MPa,  $E_{0.05}$ = 7500 MPa y  $E_{\text{min}}$ = 4000 MPa), se observa una diferencia estadísticamente significativa, contrario a lo que pasa con los resultados de Lozano et al (2010) y Ardila (2013) donde la diferencia es mínima, a pesar que la procedencia de las probetas es distinta y en consecuencia, las condiciones edafológicas y climatológicas que caracterizan a cada región. Los contenidos de humedad para los estudios a flexión realizados en Colombia sobre *Guadua angustifolia* presentan diferencias significativas, correspondiendo el valor de 71.04% a la investigación de Lozano et al (2010), 19,91% para Ardila (2013) y 102.2% Sapuyes y Osorio (2017).

Los esfuerzos admisibles presentados por Sapuyes y Osorio (2017) son superiores a los de Lozano et al (2010) y Ardila (2013) observando así que la *Guadua angustifolia* proveniente del departamento del Huila, cuenta con ventaja representativa respecto al material procedente de los departamentos de Cundinamarca, Quindío, Tolima y Valle del Cauca.

## BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, J., Olarte, J., 2013. Esfuerzo máximo de tensión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito - Huila. Proyecto de grado. Neiva: Universidad Surcolombiana.

Ardila Cesar, 2013. Determinación de los valores de esfuerzos admisibles del bambú *Guadua angustifolia* Kunth del departamento de Tolima, Colombia- Universidad Nacional de Colombia, Sede; Bogotá.

Capera, A., Erazo, W., 2012. Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* del municipio de Pitalito - Huila. Proyecto de grado. Neiva: Universidad Surcolombiana.

Chavarro Sergio, 2016. Deflexiones de la *Guadua angustifolia* Kunth para culmos sometidos a esfuerzos por flexión con cargas permanentes en el ambiente de Bogotá. Modelo de Burger y modelo de Findley. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth. Bogotá: ICONTEC, 2007 (NTC 5525)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. Bogotá: ICONTEC, 2008 (NTC 5300).

Lopez, G., Salcedo, J., 2016. Resistencia a compresión perpendicular y determinación del módulo de elasticidad circunferencial de la *Guadua angustifolia* kunth del municipio de pitalito: Universidad Surcolombiana, Sede; Neiva.

Lozano, E., et., 2010. Validación de la *Guadua angustifolia* como material estructural para diseño, por el método de esfuerzos admisibles. Universidad Nacional de Colombia, Sede; Bogotá.

NSR 10, 2010. Reglamento colombiano de construcciones sismo resistente.

Prieto, E., Sánchez, J., 2002. Comportamiento de la *guadua angustifolia* sometida a flexión. Proyecto de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Reyes, E., Rayo G., 2014. , comportamiento a flexión de vigas de madera de gran longitud de sección compuesta reforzadas con láminas pegadas prensadas de guadua “*Angustifolia Kunth*”

Rusique Melissa, 2007. Influencia de la perforación, para inmunización en los tabiques, en el comportamiento de elementos solicitados a flexión de *Guadua angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia, Sede; cogota.

Takeuchi, C. et. 2013. Análisis Comparativo en Muestras de *Guadua angustifolia* Kunth Solicitadas a Compresión Paralela a la Fibra. En: Ingeniería y región, v.10, págs. 117-124

Vélez, G. Documento: El Humilde bambú “acero vegetal”. Memorias Congreso Virtual de Arquitectura. Caracas, Venezuela. Febrero 2001.

Villegas, F., 2005. Comparación consumo de recursos energéticos en la construcción de vivienda social: Guadua vs Concreto. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

## INGENIERÍA DE SUELO Y AGUA



## TAXA DE INFILTRAÇÃO ESTÁVEL EM DIFERENTES UNIDADES DE MAPEAMENTO E USOS DO SOLO NO MÉDIO PARAÍBA DO SUL, BRASIL

Daniel Fonseca de Carvalho <sup>(1)</sup> André Geraldo de Lima Moraes <sup>(2)</sup>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil. <sup>(1)</sup> E-mail: [carvalho@ufrj.br](mailto:carvalho@ufrj.br); [daniel.fonseca.carvalho@gmail.com](mailto:daniel.fonseca.carvalho@gmail.com). Tel: 55 21 2682-1864 <sup>(2)</sup> E-mail: [andrehmuz@hotmail.com](mailto:andrehmuz@hotmail.com).

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a taxa de infiltração estável (TIE) em diferentes unidades de mapeamento usos do solo na região do Médio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro, Brasil, que apresenta longo histórico de degradação de solos. Foi medida a TIE com simulador de chuvas, modelo InfiAsper/UFMS, em 71 pontos, caracterizando a variabilidade de usos e solos da região. As unidades de mapeamento I e II apresentaram as menores TIE médias (1,7 e 7,4 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente) apresentando como classes de solo predominante os Gleissolos, seguidas das unidades III (19,4 mm h<sup>-1</sup>) (Planossolos e Gleissolos), IV (29,1 mm h<sup>-1</sup>) (Argissolos e Cambissolos), VI (41,6 mm h<sup>-1</sup>) (Latosolos e Argissolos), VII (43,0 mm h<sup>-1</sup>) (Cambissolos e Neossolos Flúvicos) e V (60,0 mm h<sup>-1</sup>) (Latosolos e Nitossolos). No entanto, há grande variação na TIE dentro de cada unidade de mapeamento, fato que pode ser explicado pela influência dos tipos de uso do solo. Este efeito pode ser observado ao se analisar as TIE médias de cada uso, nos pontos amostrados em uma única unidade de mapeamento, podendo citar a unidade IV, que é a mais representativa da área de estudos. Nesta unidade de mapeamento, as menores TIE médias foram encontradas em pastagens degradadas (10,7 mm h<sup>-1</sup>), seguida pelas pastagens (24,0 mm h<sup>-1</sup>), pastagens sujas (34,6 mm h<sup>-1</sup>), áreas abandonadas (38,0 mm h<sup>-1</sup>), e matas (51,5 mm h<sup>-1</sup>). Conclui-se que tipos e usos do solo apresentam forte influência sobre a taxa de infiltração estável.

**Palavras-chave:** Simulador de chuva, Infiltrômetro de aspersão, Pastagem degradada

## STEADY INFILTRATION RATE IN DIFFERENT SOIL MAPPING UNITS AND USES IN THE MÉDIO PARAÍBA DO SUL REGION, BRAZIL

### ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the steady infiltration rate (SIR) in different soil mapping units and uses in the Médio Paraíba do Sul region, Rio de Janeiro state, Brazil, which has a long history of soil degradation. The SIR was measured with rainfall simulator, InfiAsper / UFMS model, in 71 points, characterizing the variability of uses and soils of the region. The mapping units I and II presented the smallest mean SIR ( $1.7$  and  $7.4 \text{ mm h}^{-1}$ , respectively), presenting Gleissolos as the predominant soil classes, followed by ( $29.1 \text{ mm h}^{-1}$ ) (Argissolos and Cambissolos), VI ( $41.6 \text{ mm h}^{-1}$ ) (Latosolos and Argissolos), VII ( $43.0 \text{ mm h}^{-1}$ ) (Cambissolos and Neossolos Flúvicos) and V ( $60.0 \text{ mm h}^{-1}$ ) (Latosolos and Nitossolos). However, there is great variation in SIR within each mapping unit, which can be explained by the influence of land use types. This effect can be observed when analyzing the mean SIR of each use, at the points sampled in a single mapping unit. In the Unit IV, which is the most representative of the study área, the lowest mean TIE was found in degraded pastures ( $10.7 \text{ mm h}^{-1}$ ), followed by pastures ( $24.0 \text{ mm h}^{-1}$ ), unmanaged pastures ( $34.6 \text{ mm h}^{-1}$ ), fallow areas ( $38.0 \text{ mm h}^{-1}$ ), and forest ( $51.5 \text{ mm h}^{-1}$ ). It was concluded that soil types and uses had a strong influence on the water steady infiltration rate.

**Keywords:** Rainfall simulator, Sprinkler Infiltrometer, Degraded pasture

### INTRODUÇÃO

A infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do terreno. Inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo até se tornar constante no momento em que a umidade na camada superior se torna elevada. Assim sendo, sob chuva ou irrigação contínua, a taxa de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido por taxa de infiltração estável (TIE).

O conhecimento da TIE possui importância prática em projeto de irrigação, determinando o balanço de água na zona radicular e influencia no deflúvio superficial responsável pelo fenômeno da erosão durante precipitações pluviais. Desta maneira, o conhecimento do processo de infiltração de água no solo e das suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para diferentes áreas, principalmente na conservação do solo e da água.

O processo de infiltração de água no solo é influenciado pela porosidade, densidade do solo (Sales 1999, Ekmaaj, 2010), textura (Pott, 2003), grau de agregação do solo, uso/cobertura do solo, teor de matéria orgânica, estrutura (Pott, 2003, Bertol, 2015, Almeida, 2018) classes de solo (Sartori, 2005) e etc.

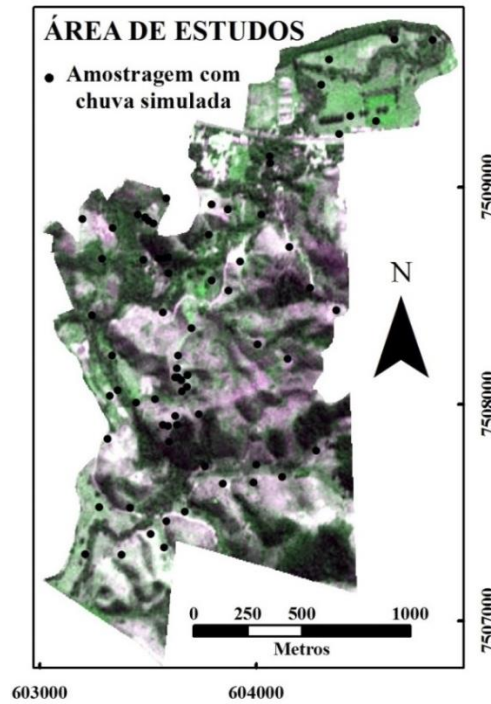
Estudos sobre este tema são de grande importância para o Médio Paraíba do Sul, pois o seu histórico de uso e ocupação do solo, iniciada com o ciclo do café (sec. XIX), seguido de pastagem para pecuária extensiva, sem o manejo correto e com uso do fogo, associado ao relevo da região provocou elevada degradação, influenciando diretamente a dinâmica da água nestes solos.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a taxa de infiltração estável (TIE) em diferentes unidades de mapeamento do solo e tipos de cobertura na região do Médio Paraíba do Sul.

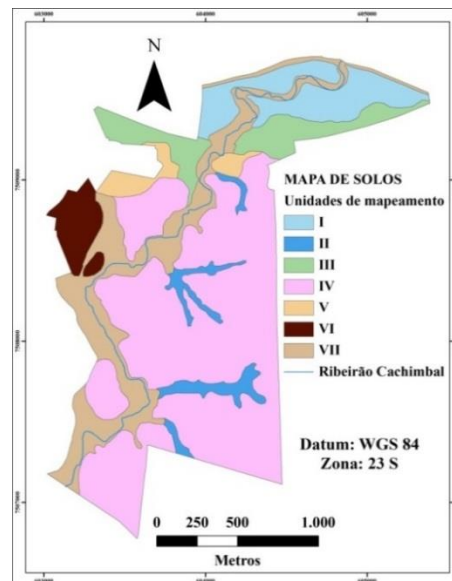
## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma sub-bacia do Rio Paraíba do Sul (bacia do ribeirão Cachimbal), localizada no município de Pinheiral-RJ, na área do IFRJ-campus Nilo Peçanha, entre os meses de julho a setembro de 2015. A TIE foi medida com um simulador de chuvas, modelo InfiAsper/UFMS, em 71 pontos (Figura 1), caracterizando a variabilidade de usos e classes de solo da região. Os tipos de uso do solo mais expressivos encontrados foram pastagens degradadas, pastagens, pastagens sujas, áreas abandonadas e mata. As unidades de mapeamento foram identificadas a partir de um mapa de solos de escala 1:10.000 que contempla toda área do IFRJ (Figura 2 e Tabela 1). A intensidade da chuva simulada aplicada foi de 60 mm h<sup>-1</sup>, com duração de 1 hora contada a partir do início do escoamento superficial, aplicada sobre parcela experimental de 0,7 m<sup>2</sup>. A TIE foi determinada a partir do volume médio escoado, já estabilizado, coletado nos 3 últimos minutos de teste com simulador. A

lâmina escoada foi calculada pela razão do volume médio pela área da parcela e a TIE, pela diferença entre a precipitação e a lâmina escoada.



**Figura 1. Pontos de amostragem com chuva simulada.**



**Figura 2. Mapa de solos do IFRF campus Nilo Peçanha.**

**Tabela 3. Relações entre unidades de mapeamento, unidades geomorfológicas e classes de solos no interior do campus da IFRF campus Nilo Peçanha**

Unidade de Mapeamento	Unidade Geomorfológica	Classes de Solos Predominantes (SiBCS)
I	Várzeas do Paraíba	Gleissolos Háplicos
II	Vales encaixados	Gleissolos Háplicos
III	Cones de dejeção	Planossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos
IV	Morros em gnaiss	Argissolos Vermelho Amarelos e Cambissolos Háplicos
V	Morros em basanita	Latossolos Vermelho Amarelos e Nitossolos Háplicos
VI	Morros em bacia. Sed. Volta Redonda	Latossolos Vermelho Amarelos e Argissolos Vermelho amarelos
II	Diques marginais	Cambissolos Flúvicos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos.

OBS: SiBCS- Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de infiltração estável (TIE) média encontrada na área de estudo foi de 30,2 mm h<sup>-1</sup>, com valor mínimo de 0,5 mm h<sup>-1</sup> e máximo de 60 mm h<sup>-1</sup>. Os testes que não apresentaram escoamento após uma hora de chuva simulada foram definidos como 60 mm h<sup>-1</sup> (intensidade de precipitação utilizada).

Na Tabela 02 (esquerda) é possível observar a influência dos diferentes tipos de solo (unidades de mapeamento) sobre a TIE. As unidades I e II apresentaram as menores médias de TIE (1,7 e 7,4 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Tabela 2. Taxa de infiltração estável média em função das unidades de mapeamento (esquerda) e dos morros em gnaisse em função da cobertura do solo (direita)**

Unidades de mapeamento	TIE Média (mm.h <sup>-1</sup> )	Cobertura do solo	TIE média dos M.G. (mm.h <sup>-1</sup> )
I-Várzeas do Paraíba	1,7	Mata	51,5
II-Vales encaixados	7,4	Área abandonada	38,0
III-Cones de dejeção	19,4	Pastagem Suja	34,6
IV-Morros em gnaisse	29,1		
V- morros em bacia. Sed. Volta Redonda	60,0	Pastagem	24,0
VI- Morros em basanita	43,0	Pastagem degradada	10,7
VII-Diques marginais	41,6		

Obs: classes de solos dominantes em cada classe de solo: I - GX; II- GX; III – SX, GX; IV – PVA, CX; V- LVA, PVA; VI – LVA, NX; VII – CY, RY.

Estas duas unidades de mapeamento tem como classe de solo predominante os Gleissolos Háplicos, solos hidromórficos, mal a muito mal drenados que possuem características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido à presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano (EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2013). A diferença entre a unidade I e II, embora apresentem as mesmas classes de solo, é a sua posição na paisagem, uma vez que a unidade I está localizada nas planícies de inundação perto do rio Paraíba do Sul e a unidade II está localizada nos vales encaixados.

A unidade III apresentou a terceira menor média de TIE (19,4 mm h<sup>-1</sup>). Esta unidade tem como classes de solos predominantes os Planossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos, que possuem perfil com má a muito má drenagem, respectivamente (SANTOS et al., 2013). Planossolos ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas, sendo geralmente pouco profundos com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média, seguido de um horizonte B plânico (horizonte característicos dos planossolos), de textura média, argilosa ou muito argilosa, adensado, pouco permeável(EMBRAPA (2013). A unidade IV apresentou valor intermediário de TIE (29,1 mm.h<sup>-1</sup>), e apresenta classes de solos predominantes Argissolos Vermelhos Amarelos e Cambissolos Háplicos,

frequentemente relacionados à perfis de drenagem moderada (SANTOS et al., 2013). Argissolos possuem horizonte de acúmulo de argila que influenciam negativamente a TI, enquanto Cambissolos Háplicos são solos rasos e pouco desenvolvidos (EMBRAPA, 2013). Nesta região ambos estão associados a relevo fortemente ondulado tornando os susceptíveis à erosão.

Unidades VI e VII apresentaram valores médios de TIE semelhantes (43,0 e 41,6 mm h<sup>-1</sup> respectivamente), com predominância de solos das classes Latossolos Vermelho Amarelos e Nitossolos Háplicos, classes de solos desenvolvidos bem estruturados, geralmente associados a perfis fortemente drenados (EMBRAPA, 2013). A unidade VII apresenta Cambissolos e Neossolos Flúvicos, localizados próximos ao ribeirão Cachimbal e ao rio Paraíba do Sul. Possuem constituição arenosa e também possuem perfis fortemente drenados (SANTOS et al., 2013).

A unidade de V apresentou a maior média de TIE deste estudo, com predominâncias de Latossolos Vermelhos Amarelo e Argissolos Vermelho Amarelos, frequentemente relacionados a perfis de drenagem de fortemente e bem drenados, respectivamente (SANTOS et al., 2013). No entanto, por coincidência, todos os testes realizados nesta unidade de mapeamento foram sobre a cobertura de mata que teve grande influência nestes resultados.

Na unidade mapeamento IV as pastagens degradadas apresentam os menores valores médios de TIE (10,7 mm h<sup>-1</sup>) (Tabela 02, direita), pois se encontram em estágio avançados de degradação, apresentando, pelo menos, indícios de erosão em sulcos e/ou áreas queimadas (sem cobertura vegetal). Estes solos, desprovidos de proteção vegetal e compactados pelo pisoteio do gado (Tabela 03), são facilmente impactados pelas gotas da chuva, aumentando o desprendimento de partículas e o selamento da superfície do solo, diminuindo capacidade de infiltração de água.

As áreas de pastagem apresentam a segunda menor TIE média (24 mm h<sup>-1</sup>). Este resultado é devido ao pisoteio pelo gado e consequente alteração de atributos físicos do solo como a densidade (Tabela 03), que influencia na infiltração de água no solo.



**Tabela 3. Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) por classes de uso na profundidade de 0-5 cm (utilizando todos os dados)**

Atributos	Mata	A. A.	P. S.	Pastagem	P. D.	A. G.
Média	1,14	1,25	1,30	1,31	1,42	1,20*
Desvio Padrão	0,11	0,10	0,14	0,13	0,13	-
Mínimo	0,93	1,10	0,96	0,97	1,29	-
Máximo	1,28	1,39	1,51	1,53	1,68	-

Obs: A. A. = Área abandonada; P. S. = Pastagem suja; P. D. = Pastagem degradada; A. G. = Área gradeada \* = único teste.

As áreas de pastagem sujas são compostas por espécies vegetais de baixo interesse para o gado, promovendo o menor pisoteio, além do desenvolvimento de espécies vegetais variadas. Neste tipo de cobertura, a TIE média ( $34,6 \text{ mm h}^{-1}$ ) ficou entre as pastagens e as áreas abandonadas ( $24,0$  e  $38,0 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente). As áreas abandonadas são áreas isoladas com o intuito de serem reflorestadas, porém sem a implantação de espécies florestais. Estas se apresentam tipicamente cobertas por capim colônia. A falta de uso agropecuário parece proporcionar maior cobertura do solo e recuperação dos atributos físicos do solo, fazendo com que esta área apresente alta TIE.

As áreas de mata apresentaram a maior TIE média ( $51,5 \text{ mm h}^{-1}$ ). Isto se deve à proteção do solo pela vegetação e serrapilheira, que influenciam no aporte de matéria orgânica (Tabela 04) e na atividade da biota do solo. Resultando em solos de baixa densidade (Tabela 03) e bem estruturados.

**Tabela 4. Carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) por classes de uso na profundidade de 0-5 cm**

	Mata	A.A	P.S.	Past.	P.D.
Média	11,1	8,5	7,2	8,9	7,3
D.P.	3,2	2,1	1,8	2,6	1,1
Mínimo	7,2	4,2	3,7	2,9	5,7
Máximo	19,3	11,7	10,6	13,6	9,0

Obs: A. A. = Área abandonada; P. S. = Pastagem suja; P. D. = Pastagem degradada.



## CONCLUSÕES

Tipos de solo (unidades de mapeamento) possuem grande influência sobre a taxa de infiltração estável. Além disso, pastagens degradadas, feição comum na área de estudo, e áreas de mata apresentaram, respectivamente, as menores e maiores taxas de infiltração estável.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida W. S; Panachuki, E; Oliveira, P. T. S; Menezesb, R. S; Alves Sobrinho, T, Carvalho, D. F. (2018). *Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration*. Soil & Tillage Research. 175, 130–138.

Bertol, I. Barbosa, F. T. Bertol, C; Luciano, R. V. (2015). *Water Infiltration in two cultivated soils in southern Brazil*. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 39, 573-588.

Ekhmaj, A. I. (2010). *Predicting Soil Infiltration Rate Using Artificial Neural Network*. International Conference on Environmental Engineering and Applications (ICEEA 2010). 117-121.

EMBRAPA (2013). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3ªed. Revisada e ampliada. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353p.

Pinheiro, A.; Poeta, L. T.; Kaufmann, V (2009). *Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola* Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Vol. 4, Núm. 2, pp. 188-199. 2009.

Pott, C. A. & De Maria I.C. (2003) *Comparison with field methods for assessing infiltration rates*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27, 19-27.

Sales, L. E. O; Ferreira M. M., Oliveira, M. S. e Curi, N. (1999) *Estimation of the soil basic infiltration velocity*. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 34 (11): 2091-2095.

Santos, R. D. dos; Lemos, R. C. de; Santos, H. G. dos; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C. dos; Shimizu, S. H. (2013). *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Ed. Suprema Gráfica e Editora Ltda, 100 p.

Sartori, A., Lombardi Neto, F, Genovez A. M. 2005. *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 10 (4), 05-18.

**EFEITO DO PARQUE ESTADUAL DA LAPA GRANDE, MONTES CLAROS-MG, NO AUMENTO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LAPA GRANDE**  
**EFFECT OF STATE PARK GRAND LAPA, MONTES CLAROS-MG, INCREASED WATER AVAILABILITY IN GREAT BASIN RIO LAPA**

**Flávio P. Figueiredo<sup>1</sup>, Flávio G. Oliveira<sup>2</sup>, Mônica C. Azevedo<sup>3</sup> e Luana B. Durães<sup>4</sup>**

**RESUMO:** A sub-bacia do rio Lapa Grande localizada dentro do perímetro do Parque Estadual da Lapa Grande (PELG) situado na cidade de Montes Claros, norte de Minas Gerais, apresenta um grande potencial hídrico e está sendo protegida pelo Parque. O objetivo do trabalho foi verificar se o PELG está contribuindo para a melhoria da quantidade dos recursos hídricos através de um estudo das vazões dos afluentes da sub-bacia do córrego dos Bois observando também as nascentes que abastecem a mesma. Para a coleta de dados foram utilizados os métodos do vertedor, método do flutuador e método direto de medição de vazão. O perfil de alguns córregos foram coletados com o objetivo de determinar a vazão pelo método do flutuador, apresentando grande importância para estudos futuros. Os resultados mostraram que após a implantação do Parque em 2006 houve grande melhoria nas vazões dos afluentes da sub-bacia. Mesmo com pouca concentração de chuva durante os anos de 2007 e 2011 foi observado um acréscimo nas vazões comparadas aos anos de 2005 e 2001, onde apresentaram maiores precipitações. Mesmo sendo uma região muito explorada antigamente por fazendeiros existindo assim a prática da pecuária e exploração de minerais, o parque está conseguindo recuperar os danos provenientes dessa prática em função da preservação ambiental.

**PALAVRAS-CHAVES:** Parque Estadual Lapa Grande, Disponibilidade Hídrica, Medição de Vazão.

**ABSTRACT:** The sub-basin of the river Lapa Grande located within the perimeter of the Grande State Park Lapa (PELG) located in Montes Claros, northern Minas Gerais, has great water potential and is being protected by the Park. The objective was to verify if the PELG is contributing to the improvement of the quantity of water resources through a study of the flow of the tributaries of the Bois stream sub-basin also observing the springs that supply the same. For data collection were used the spillway methods, float method and direct method flow

measurement. The profile of some streams were collected in order to determine flow by float method, highly relevant for future studies. The results showed that after the implementation of the Park in 2006 there was a great improvement in the flow of the tributaries of the sub-basin. Even with little rainfall concentration during the years 2007 and 2011 it was observed an increase in flow rates compared to 2005 and 2001, which showed higher rainfall. Despite being a very old region explored by farmers so there the practice of animal husbandry and exploitation of minerals, the park is managing to recover damages from this practice due to environmental preservation.

**KEYWORDS:** Big Lapa State Park, Water Availability, Flow Measurement.

### INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas representam uma área receptora de água natural da chuva, a qual é drenada para um rio principal e seus afluentes. Essas regiões englobam todo um ecossistema, por isso a importância do monitoramento dos recursos naturais dessa região (COSTA, 2013). As regiões de abastecimento de bacias hidrográficas, que são os topos de montanhas e as nascentes, devem ser preservadas. Os parques estaduais considerados como unidades de conservação (UC) protegem os recursos existentes. Contudo, ocorrem atividades degradadoras como poluição de seus mananciais, desmatamento de sua vegetação, queimadas, que muitas vezes vem de áreas vizinhas, comprometendo os objetivos de criação das UCs (ARAÚJO, 2007).

De acordo com o decreto do Estado de Minas Gerais nº 44.204 de 10 de Janeiro de 2006, cria-se o Parque Estadual da Lapa Grande, situado no Município de Montes Claros, Norte de Minas Gerais, firmando o Parque como uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (MINAS GERAIS, 2006).

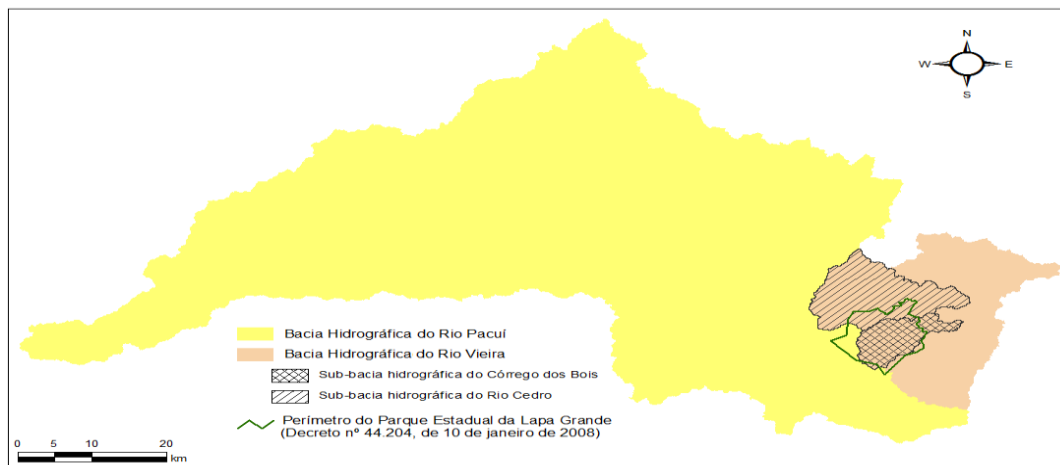
O Parque Estadual da Lapa Grande (PELG) encontra-se dentro de duas bacias hidrográficas, a do Rio Pacuí e a do Rio Vieira. Segundo o Instituto Estadual de Floresta (IEF), o parque é uma unidade de conservação de proteção integral, que tem como objetivo a conservação e proteção de todo um complexo de grutas onde se encontra a maioria de seus mananciais.

A COPASA (órgão responsável pela captação e distribuição de água para abastecimento urbano de Minas Gerais) usufrui desse recurso hídrico para o abastecimento de 20% da população da cidade de Montes Claros - MG.

O trabalho teve como objetivo comparar as vazões dos mananciais para então verificar se o PELG está contribuindo para a melhoria da quantidade dos recursos hídricos da sub-bacia do córrego dos Bois, observar as nascentes que abastecem a mesma, caracterizar os principais pontos de alimentação da sub-bacia, podendo assim, reunir subsídios para ações futuras de recuperação ambiental e manter a qualidade de seus recursos hídricos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado durante os anos de 2013 e 2014 no Parque Estadual da Lapa Grande (PELG), com as coordenadas UTM 604400 e 617000 de latitude e 8143000 e 8158000 de longitude. Apresenta uma área de aproximadamente 7000 ha, onde predomina o cerrado, temperatura média de 22,65° e um índice pluviométrico anual de 1.074mm (MINAS GERAIS, 2006). As análises foram realizadas principalmente na sub Bacia Hidrográfica do Córrego dos Bois.



**Figura 1** – Localização geográfica do PELG na bacia hidrográfica do Rio Pacuí e do Rio Vieira

## A COLETA DE DADOS

O levantamento de dados hidrológicos foi realizado nos principais afluentes da sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Bois. Foram visitadas as nascentes e as ressurgências que contribuem na alimentação do rio principal. Em cada ponto foi coletado sua coordenada geográfica, fotos que

mostram sua situação, a vazão existente naquele afluente, e quando possível, foi feito o perfil daqueles pontos; que foram catalogados e colocados em um mapa temático que mostram suas características. Para as medições de vazão foram usados três métodos; o método direto, o método do vertedor e o método do flutuador.

No método direto foi usado um balde milimetrado e um cronômetro. Quando o balde era colocado para encher o cronômetro era acionado. Assim, no final tinha-se o volume coletado em função do tempo gasto. Depois de ter retirado a média dos 5 tempos os dados de volume e tempo foram aplicados na seguinte fórmula:

$$Q = V * T \quad \text{(Fórmula 1)}$$

Onde,

Q : vazão (m<sup>3</sup>/s); V : volume (m<sup>3</sup>); T : tempo (s)

No método do vertedor retangular, foi usado um vertedor em forma de chapa de metal, ele foi colocado nos córregos que apresentavam larguras pequenas. Depois de instalados e anotados os dados foi usado a fórmula 2 chamada fórmula de Francis, a qual, está descrita abaixo :

$$Q = 1,838 * L * H^{3/2} \quad \text{(Fórmula 2)}$$

Onde,

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s); L = largura da abertura do vertedor (m); H = Carga hidráulica (m)

No método do flutuador foi usada a seguinte fórmula:

$$Q = \bar{A} * V(m) \quad \text{(Fórmula 3)}$$

Onde,

$\bar{A}$  = Área média da seção transversal (m<sup>2</sup>); V(m) = Velocidade média (m/s)

Para o cálculo da área da seção transversal foram usadas 4 estacas, duas de cada lado do rio, onde serviu para marcar uma determinada distância definindo assim um trecho, no qual, não pode apresentar curvas e a água não pode estar parada. Assim, foi amarrada uma corda em cada estaca atravessando o rio. Após essa marcação foi medida a largura do rio. De acordo com a largura do rio foi demarcado intervalos semelhantes para a medição da profundidade, que foi feita com uma

trena tipo bastão. Em cada intervalo foi medido a profundidade que tem naquele ponto e formado assim o perfil transversal dos cursos d'água.

Para o cálculo da área de cada seção usou-se a seguinte fórmula:

$$S_i = \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) h \quad (\text{Fórmula 4})$$

Onde,

$S_i$  = Área da seção (cm<sup>2</sup>);  $h_i$ ,  $h_{i+1}$  = As profundidades da seção (cm);  $h$  = Largura da seção (cm)

Depois somou-se todas as áreas e tirou a média delas gerando assim uma área média. No cálculo da velocidade média usou-se a fórmula abaixo:

$$V_m = \frac{D}{T} * f \quad (\text{Fórmula 5})$$

Onde,

$V_m$  = Velocidade média (m/s);  $D$  = Distância (m);  $T$  = Tempo (s) e  
 $f$  = Fator de correção (Foi usado o valor de 0,7, pois é utilizado em canais com paredes irregulares e vegetação no fundo ou canais naturais).

A distância usada na fórmula acima é a do comprimento do rio que foi marcado pelas estacas e o tempo é determinado pelo tempo que o flutuador gasta para ir de uma estaca na outra. Os dados de vazão foram comparados com os dados de precipitação da região, que foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As nascentes e os pontos de coleta dos dados foram catalogados e distribuídos em um mapa. Este mapa representa o perímetro que o parque abrange e a sub-bacia estudada, percebendo-se que ela se encontra dentro do PELG (FIGURA 4).

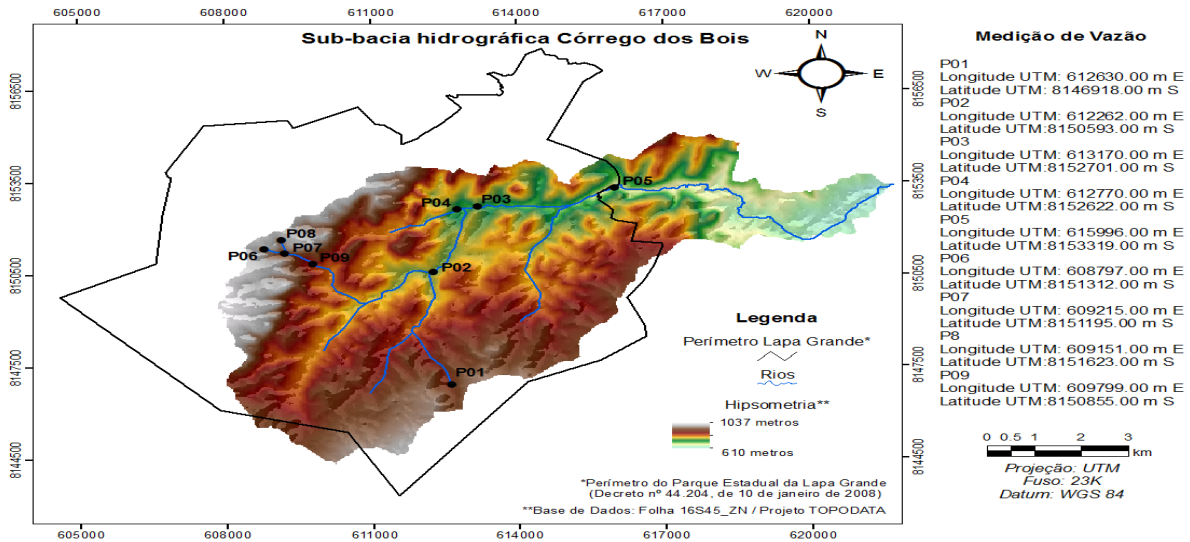


Figura 2 - Mapa da sub-bacia do córrego dos Bois inserida no PELG

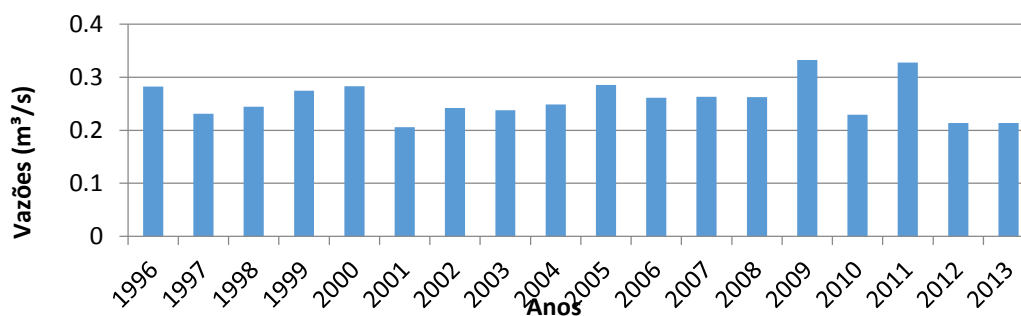
A soma das vazões dos principais afluentes da sub-bacia do Rio Córrego dos Bois (Rio Lapa Grande), corresponde a  $0,4952\text{m}^3/\text{s}$ . Na análise das médias das vazões percebe-se que o ano de 2009 apresentou a maior média que foi de  $0,34\text{ m}^3/\text{s}$  (GRÁFICO 1). A análise apresentou um erro de  $0,16\text{ m}^3/\text{s}$ , que pode ser justificado pela baixa precisão que os métodos de medição e o fato das mesmas terem sido feitas em dias distintos. O segundo ponto com vazão referente a  $0,14657\text{m}^3/\text{s}$ , representa a soma de duas nascentes; a nascente dos Coelho e a nascente do Cipó Branco, pois o afluente dessas nascentes desagua no Poço dos Caixotes representado pelo 2º ponto (TABELA 2).



**Tabela 1 - Vazão dos principais afluentes do rio Córrego dos Bois**

Ponto	Coordenadas Geográficas	Método	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Ponto - Córrego próximo à sede		Método do Flutuador	0,1003
1° Ponto – nascente dos Macacos Dentro do Parque	23k0612630 UTM 8146918	Método do Flutuador	0,003496
2° Ponto – aço Caixote (2 nascentes - nascente dos coelhos e do cipó branco)	23K0612262 UTM 8150593	Método do Flutuador	0,14657
3° Ponto – Córrego ressurgência Lapa Grande	23k0613170 UTM 8152701	Método do Vertedor	0,0197
4° Ponto - Córrego saída da Caverna	23k0612770 UTM8152622	Método do Vertedor	0,001507
5° Ponto - Córrego ressurgência Lapa Grande 2 Próximo a portaria	23k0615996 UTM : 8153319	Método do Flutuador	0,1939
6 ° e 7° Ponto - Nascente do Boca	23k0609215 UTM : 8151195	Método do Flutuador	0,005638
3° Ponto - Nascente do Boca Encanada	23k0609799 UTM : 8150855	Método direto	0,02976
Total das vazões que chegam no exutório			0,495233

**Médias das vazões entre os anos de 1996 - 2013**



**Gráfico 1 - Média das vazões dos anos de 1996 – 2013**

**Tabela 2** - Nascentes que alimentam o Poço dos Caixotes

Nascentes que alimentam o Poço do Caixote			
Nascente dos Coelhos (Uma das nascentes efluente do córrego do Poço Caixote)	23K0612262 UTM 8150593	Método do Flutuador	0,013102m <sup>3</sup> /s
	+		
Nascente do Cipó Branco (Uma das nascentes efluente do córrego do Poço Caixote)	23K0612262 UTM 8150593	Diferença entre vazão do Poço do Caixote e Nascente dos Coelhos	0,13347m <sup>3</sup> /s
	=		
Ponto - Poço Caixote (2 nascentes – nascente dos coelhos e do cipó branco)	23K0612262 UTM 8150593	Método do Flutuador	0,14657m <sup>3</sup> /s

Os Gráficos 2 e 3 mostram que após a criação do PELG em 2006 a vazão do rio Córrego dos Bois e de seus afluentes estão respondendo positivamente em relação a precipitação recebida por eles. Nos mesmos Gráficos pode-se observar que no mês de Agosto dos anos de 2001 e 2011 não houve registros de precipitação, mas mesmo assim o ano de 2011 apresentou uma vazão em seu exutório de 0,2487 m<sup>3</sup>/s, já o ano de 2001 apresentou apenas 0,159 m<sup>3</sup>/s. Nos meses de fevereiro e maio observou-se que em 2011 a precipitação foi mínima e a vazão ainda cresceu de 0,2481 para 0,3366 m<sup>3</sup>/s. No mês de outubro de 2011 a precipitação foi de 66 mm, a vazão chegou quase a 0,400m<sup>3</sup>/s, já no ano de 2001 houve concentração de chuva de 166,6 mm no mesmo mês e uma vazão de 0,1794.

### Vazão x Precipitação - 2001

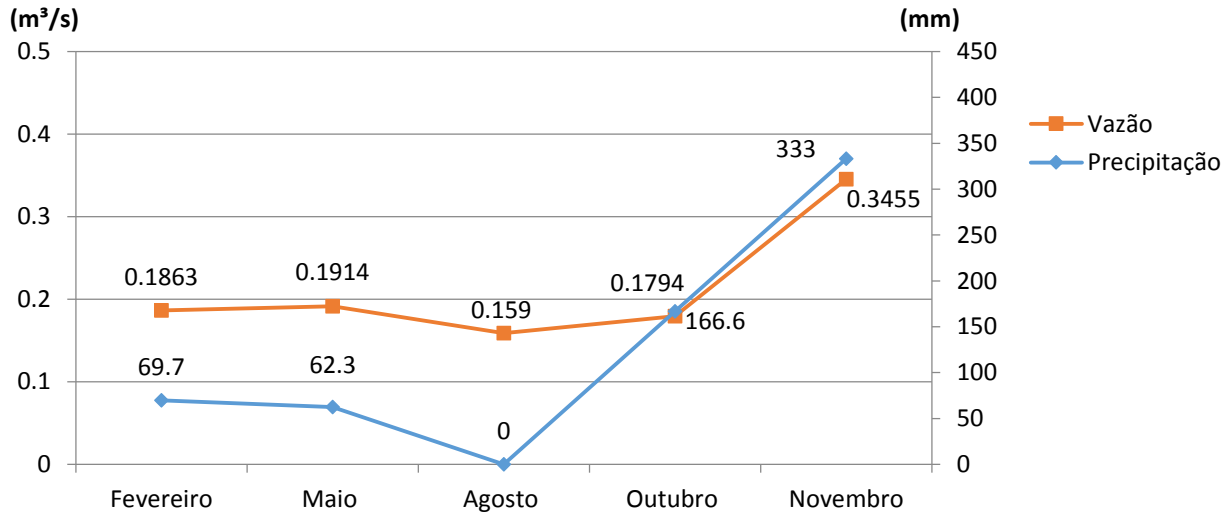


Gráfico 2 - Vazão x Precipitação do ano de 2001

### Vazão x Precipitação - 2011

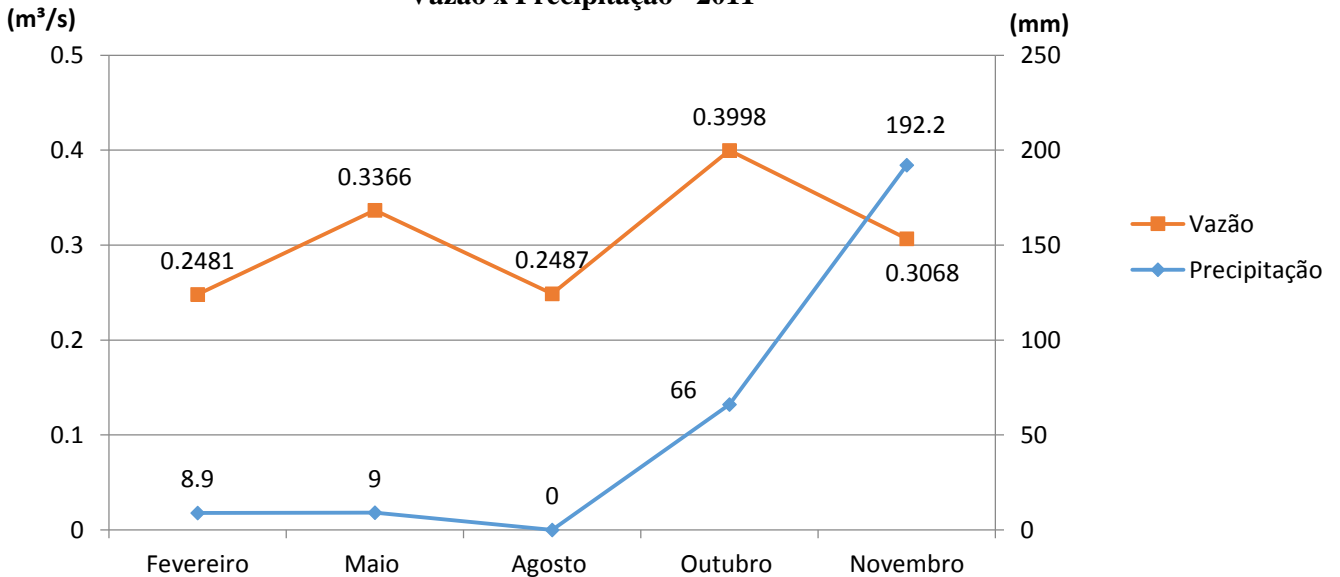


Gráfico 3 - Vazão x Precipitação do ano de 2011

O ano de 2005 teve uma precipitação total de 1326,6 mm e foi o único ano desde 1996 que apresentou precipitação durante todo ano. Este ano foi comparado com o ano de 2007, que foi um ano após a criação do parque, sua precipitação total no ano foi de 632 mm. Percebe-se que nos

meses de Maio, Setembro e Outubro do ano de 2007 apresentaram precipitações 2,2; 0 e 13,3 mm respectivamente e vazões medidas 0,2634; 0,219 e 0,2508m<sup>3</sup>/s. As análises desses dados mostram que no ano de 2007 houve menor quantidade de chuva e maiores valores de vazão em relação ao ano de 2005 (TABELA 3).

**TABELA 3 - Vazão x Precipitação dos anos de 2005 e 2007**

Meses	2005		2007	
	Precipitação (mm)	Vazão(m <sup>3</sup> /s)	Precipitação (mm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Janeiro	258,6	-	139,6	0,2856
Fevereiro	237,4	-	264,3	-
Março	127,1	0,3983	24,8	0,3408
Abril	14,7	-	16,4	0,2761
Maio	24	0,2628	2,2	0,2634
Junho	4,6	0,2357	0	-
Julho	0,2	-	0	0,2332
Agosto	1,2	0,228	0	0,2208
Setembro	23,4	0,195	0	0,2199
Outubro	63,6	0,1899	13,3	0,2508
Novembro	293,5	0,3748	72,5	-
Dezembro	279,7	-	101,8	0,2756
TOTAL	1328		634,9	

Observando a precipitação total durante os anos de 1996 à 2013 e as médias das vazões dos mesmos anos observou-se que mesmo com baixas precipitações as vazões em alguns anos conseguiram responder positivamente. Os anos de 2009 e 2011 apresentaram precipitação em (mm) de 1133,7 e 1093,9 respectivamente, esses anos tiveram as maiores médias de vazões durante todos os anos. A sub-bacia hidrográfica em estudo apresenta estabilidade dos recursos hídricos, pois, mesmo com grandes precipitações, não existe relatos de transbordamento dos afluentes, e mesmo nos meses de seca apresenta valores de vazões significativos.

### CONCLUSÃO

Conclui-se que após a criação do Parque Estadual da Lapa Grande verificou-se que houve um aumento das vazões quando se comparou os períodos antes e depois da criação do parque melhorando seus recursos hídricos em relação aos valores de vazão presentes na sub-bacia do Córrego dos Bois.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, Marcos Antonio Reis. (2007). UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL: da República à Gestão de Classes Mundial. Belo Horizonte: SEGRAC.

COSTA, Luma S. ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARQUE ESTADUAL DA LAPA GRANDE NO MUNICÍPIO DE MONTES CLAROS. 2013.41 f. Monografia (obtenção de título de Bacharel) - Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.

MINAS GERAIS. Instituto Estadual de Floresta. Disponível em:

< <http://www.ief.mg.gov.br/instituicao/historico-e-realizacoes/1530>>. Acesso em : 20 de Março de 2014.

MINAS GERAIS. Decreto nº 44.204 de 10 de Janeiro de 2006. Cria o Parque Estadual da Lapa Grande, no Município de Montes Claros. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5310>>. Acesso em: 26 abr. 2014.

## ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDAL AMBIENTAL EN COSTA RICA

**Isabel Guzmán-Arias**

(Tecnológico de Costa Rica, [iguzman@itcr.ac.cr](mailto:iguzman@itcr.ac.cr), Tel: (506) 2550-2462, Costa Rica)

**Jesús Monge Mejía**

(Dirección de Agua, [jmonge@da.go.cr](mailto:jmonge@da.go.cr), Tel: (506) 2103-2618, Costa Rica)

### RESUMEN

La planificación y gestión del recurso hídrico contempla un aspecto vital en la sostenibilidad de los sistemas naturales de producción de agua utilizada en los diferentes aprovechamientos, se trata del caudal ambiental requerido en las fuentes de agua para las funciones de los ecosistemas asociados. Al igual que en el resto de los países, Costa Rica avanza en la atención de este tema, buscando la sinergia entre los actores involucrados y acudiendo a las bases científicas en la consecución de una propuesta estratégica a nivel del país. Tanto la Dirección de Agua como el Tecnológico de Costa Rica, han conformado un equipo de trabajo interinstitucional e interdisciplinario con el objetivo de elaborar una guía metodológica de determinación de caudal ambiental para su implementación oficial en el proceso de otorgamiento de concesiones. Para lo cual se han establecido etapas de investigación en el análisis de las distintas metodologías existentes para el cálculo del caudal ambiental, la definición de los criterios que se deben seguir para aplicar las distintas metodologías de caudal ambiental y la construcción de un clasificador de metodologías de caudal ambiental. Se presentan los resultados obtenidos en el último año, específicamente los instrumentos generados en la determinación del marco metodológico que se utilizará para el cálculo del caudal ambiental cada vez que surja una solicitud de concesión de agua.

### Palabras clave

Caudal ambiental, agua superficial, concesión de agua

## INTRODUCCIÓN

Ante el desarrollo económico mundial, los países han visto el incremento en el uso de sus recursos naturales, especialmente el recurso hídrico, lo cual se traduce en una fuerte presión sobre el régimen natural de los ríos y los ecosistemas fluviales, limitando así los bienes y servicios provistos por los ecosistemas de agua dulce. En consecuencia, los países trabajan en mayor o menor medida en el tema del aprovechamiento de los recursos hídricos de una manera más integral (Castro L, Carvajal Y, Monsalve E. 2006), donde la determinación del caudal ambiental es parte fundamental de la gestión integral del recurso hídrico. En Australia, por ejemplo, se han utilizado muchos métodos de cálculo de caudal ambiental y estos se han modificado según las circunstancias (Arthington, A, y Zalucki, J. 1998), de esta manera han logrado recopilar un registro de experiencias para mejorar los criterios de selección del método a utilizar. En América Latina, el avance en el tema ha sido dispar en cuanto a profundización de análisis y velocidad de cambio en cada país. En Costa Rica, desde 1991, la junta directiva del Servicio Nacional de Electricidad (SNE) implementó en el país el cálculo del caudal ambiental que consiste en aplicar un porcentaje al caudal aforado en la fuente de agua, generalmente de un 10%. Desde entonces, este porcentaje se ha estado aplicando para el otorgamiento de las concesiones, sin embargo, ha surgido la necesidad de revisar el método utilizado para garantizar una distribución más equitativa del agua. Asimismo, en el 2015, el MINAE a través de la Dirección Sectorial de Energía (DSE) implementó el Plan Sectorial de Energía 2015 – 2030 (PSE), el cual, en uno de sus ejes incluye la revisión de la normativa vigente y el análisis de los criterios y métodos aplicados en la asignación de caudales de ambientales (Ley Marco de Concesión para el Aprovechamiento de las Fuerzas Hidráulicas para la Generación Hidroeléctricas, 2009). En atención a la necesidad de contar con una metodología de cálculo de caudal ambiental para el país, en el 2016 se conformó un equipo de trabajo integrado por representantes de distintas instituciones relacionadas con el recurso hídrico para desarrollar esta tarea con apoyo de una comisión técnica nacional de caudal ambiental. Uno de los fundamentos de este estudio es la adopción de la definición de caudal ambiental dada en la Declaración de Brisbane en el 2007: *El caudal ambiental fue definido como la cantidad, periodicidad y calidad del caudal de agua que se requiere para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, estuarinos y el bienestar*

*humano que depende de estos ecosistemas* (Conferencia de Brisbane, 2007), así como la definición establecida en los proyectos de ley de Recurso Hídrico en Costa Rica: *Cantidad de agua expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia del caudal específico, y la calidad de agua expresada en términos de rangos, frecuencias y duración de la concentración de parámetros clave, que se requieren para mantener un nivel técnicamente justificado de salud en el ecosistema y en condiciones socioeconómicas y culturales* (Proyecto de Ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, 2017). A partir de los principales factores que tienen influencia sobre el cálculo del caudal ambiental, se presentan los resultados del objetivo general: Elaborar una guía metodológica de determinación de caudal ambiental para su implementación oficial en el proceso de otorgamiento de concesiones. Y los objetivos específicos: - Analizar las distintas metodologías existentes para el cálculo del caudal ambiental, - definir los criterios que se deben seguir para aplicar las distintas metodologías de caudal ambiental, - construir el clasificador de metodologías de caudal ambiental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecen en este apartado los pasos para definir la guía de cálculo de caudal ambiental según lo indicado en los objetivos. Así la revisión de la literatura para la conformación de un marco teórico, constituye la base para el análisis que permitió definir la ruta metodológica para cada uso del agua. Los criterios para la selección adecuada de metodología de cálculo de caudal ambiental se definen en función de los requerimientos de cada metodología y las condiciones reales de la fuente analizada. Posteriormente, se definen los métodos ajustados a las condiciones de país y se definen los parámetros para su aplicación. En síntesis, los pasos a seguir para generar la guía metodológica son:

- Revisión de la literatura enfocada en las metodologías de cálculo de caudal ambiental existentes.
- Análisis de las metodologías de cálculo de caudal ambiental aplicadas en otros países como referencia para valorar lo que se puede adaptar en Costa Rica.



- Análisis de los datos de concesiones y tomas de las fuentes agua generados por la Dirección de Agua con el fin de ubicar los rangos de caudal y cantidad de concesiones para cada uso del agua.
- Definición de los criterios que se deben aplicar en el cálculo del caudal ambiental para seleccionar la metodología de cálculo que mejor corresponda en cada caso.
- Validación de las metodologías de cálculo de caudal ambiental en cuencas piloto.

Los pasos descritos, son constantemente evaluados por los miembros que integran el equipo de trabajo, de manera que la validez científica de las recomendaciones sea muy bien sustentada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de metodologías de estimación de caudales ambientales, responde a la necesidad de establecer límites para la alteración del régimen hidrológico, de forma que la cantidad de agua sea suficiente para mantener los diversos usos del agua, brindarle condiciones a las especie indicadoras de un ecosistema saludable y establecer el equilibrio entre el aprovechamiento y la conservación.

Metodologías existentes:

A nivel nacional e internacional se encuentra un amplio abanico de posibilidades metodológicas que se pueden agrupar según sus características y orientación en los siguientes grupos:

- Métodos Hidrológicos: Se basan en el análisis de series temporales de 5, 10, 15, 25, 50 y hasta más años de caudales de un curso de agua, datos que pueden obtenerse del registro histórico de estaciones de aforo o mediante modelación numérica hidrológica-hidrodinámica, entre otras formas. Estos métodos se pueden dividir en dos grupos: 1) los que establecen un único valor de caudal ambiental para todo el año o mes, y 2) los que establecen un régimen completo de caudales ambientales (UNESCO, 2014). Dentro de este grupo se encuentra: Método de Tennant o de Montana, Método de caudal base o de Nueva Inglaterra, Método de Caudal base,

Método de Northern Great Plains Resource Program (NGPRP), Método de Hoppe, Método 7Q10.

- Métodos Hidráulicos: Son similares a los anteriores, pero incorporan parámetros hidráulicos como la velocidad y profundidad del agua y el perímetro mojado, etc. Los requerimientos mínimos de caudal se fijan generalmente como el punto de inflexión entre el incremento del caudal y del perímetro mojado o también fijando un porcentaje de hábitat a reservarse con un determinado valor de caudal (UNESCO, 2014). A este grupo pertenece: Método del Perímetro Mojado, Método de Múltiples Secciones (Multiple Transect Methods), Método de Idaho.
- Métodos Ecohidráulicos / Hidrobiológicos: Determinan un valor de caudal ambiental integrando el análisis hidrodinámico del tramo del curso bajo estudio y los requerimientos o preferencias de las especies que caracterizan el ecosistema fluvial. Estos métodos requieren información de la topografía del curso de agua y de la ecología de las especies o comunidades que se quiere conservar, por lo que son más costosos, esto busca relacionar el ámbito hidráulico con el hábitat disponible de la especie indicadora (UNESCO, 2014). Dentro de este grupo, se encuentran: Método de WRRI Cover, Método de Washington, Método de California o Método de Waters, Metodología IFIM-PHABSIM, El PHABSIM (Physical Habitat Simulation System o Sistema de Simulación de Hábitat Físico)
- Métodos Holísticos: Estos permiten determinar regímenes hidrológicos necesarios para mantener la integralidad del ecosistema, además de los usos sociales y productivos. Se basan en un manejo integrado de todos los factores biológicos, abióticos, socioeconómicos y el espectro completo del régimen hidrológico, incluyendo tanto su variabilidad espacial como temporal (UNESCO, 2014). Son esencialmente interdisciplinarios: Método DRIFT, Método RANA-REGINA, Método de Building Block - Aproximación Bottom-up.

### Análisis de concesiones y tomas de agua (Caso para Fuerza Hidráulica):

Tomando como ejemplo el uso del agua para fuerza hidráulica, el análisis estadístico de las concesiones otorgadas desde el año 2012 al 2016, indica la cantidad de tomas agrupadas por cada rango de caudal (ver Figura 1).

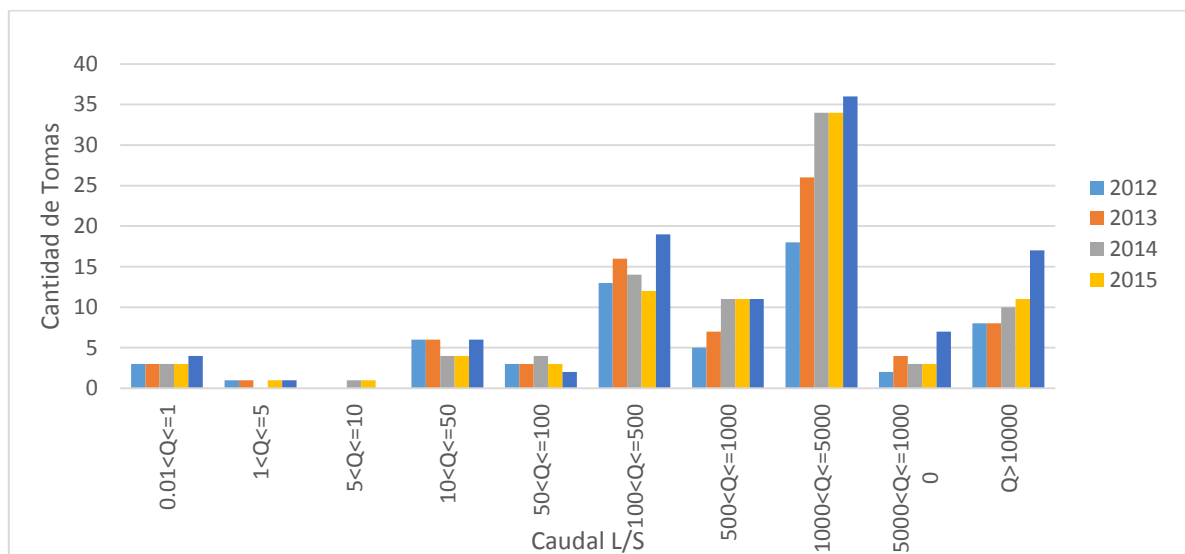


Figura 1. Concesiones en función del caudal y la cantidad de tomas para fuerza hidráulica. (Fuente: Dirección de Agua, 2017)

### Definición de criterios:

La figura anterior, marca la tendencia de las barras tanto por caudal, como por el comportamiento en los años analizados, se observan 5 grandes grupos con base en los caudales y la cantidad de tomas. Los grupos se identifican en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Definición de grupos por caudal solicitado.

<b>Grupo</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
<b>1</b>	0.01 a 1
<b>2</b>	> 1 a 10
<b>3</b>	> 10 a 100
<b>4</b>	> 100 a 1000
<b>5</b>	>1000 a 5000
<b>6</b>	> 5000

Para integrar los criterios ambientales, se presenta el cuadro 2 basado en (UNESCO, 2017) con la ponderación de los factores básicos que se deben tomar en cuenta a la hora de identificar la metodología que corresponde según el contexto socioambiental.

Cuadro 2. Ponderación de criterios socioambientales.

<b>Criterio Socio-ambiental</b>	<b>Condición</b>	<b>Factor</b>	<b>Puntaje</b>
<b>Tipo de Cauce</b>	Cauce principal	2	
	Afluente	1	
<b>Ubicación en la cuenca</b>	Alta	1	
	Media	2	
	Baja	3	
<b>Obra en cauce</b>	Parcial	1	
	Presa < 1m	2	
	Presa de 1 a 15 m	3	
	Presa > 15 m	4	
<b>Conflicto uso</b>	Alto	2	
	Leve	1	
	Ninguno	0	
<b>Área silvestre o ecosistema frágil</b>	Si	1	
	No	0	
<b>Sp migratoria o amenazada</b>	Si	1	
	No	0	

En el cuadro anterior, el *Factor* corresponde al valor numérico asignado a cada *Condición*, utilizando valores de puntuación creciente en función de grado de impacto que se genere en cada *Criterio Socio-ambiental*.

Clasificación de metodologías:

La clasificación de las metodologías, se analiza desde el punto de vista de impacto a la fuente a través del caudal aprovechado, considerando que la extracción de un caudal para aprovechamiento, implica un impacto sobre la fuente, ya que un cuerpo de agua responde a un área colectora de características variables, donde coexisten los hábitat ecológicos, las

poblaciones humanas, las actividades económicas y sociales por lo cual se debe tener especial cuidado en los proyectos que deseen aprovechar el recurso hídrico. En el Cuadro 3, se define la recomendación de aplicación de las metodologías en función de los criterios previamente identificados del análisis de los datos de concesión de la Dirección de Agua y las condiciones socio-ambientales.

Cuadro 3. Metodologías recomendadas según los criterios definidos.

<b>Criterio Ambiental</b>	<b>Metodología</b>	<b>Caudal Solicitado</b>
<b>≥9</b>	Holística	> 5000
	Holística	>1000 a 5000
<b>7-8</b>	Holística	> 100 a 1000
<b>5-6</b>	Hidrobiológica	> 10 a 100
<b>3-4</b>	Hidrológica	> 1 a 10
	Hidráulica	0.01 a 1

Estos criterios de selección de una metodología de determinación de caudal ambiental, logran una mejor adaptación del método a las condiciones de cada solicitud de concesión, de esta manera se podrá garantizar el cumplimiento de un principio básico de administración del recurso hídrico que es respetar la funcionalidad de los ecosistemas como una medida de previsión para beneficio de la población. De igual manera que para el uso de Fuerza Hidráulica, se está definiendo la estrategia para los demás usos del agua.

Validación de metodologías:

El proceso de validación de algunas metodologías se lleva a cabo de manera paralela a la planificación de esta estrategia bajo el apoyo científico de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica, donde se están ejecutando actualmente dos proyectos

debidamente inscritos en la Dirección de Proyectos de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión:

- Como validación de una metodología hidrológica: *Propuesta metodológica para la determinación de caudal ambiental en una cuenca piloto en el marco del proceso de otorgamiento de concesiones de agua*, con periodo de ejecución de enero del 2015 a diciembre de 2018.
- Como validación de una metodología hidrobiológica: *Determinación del caudal ambiental requerido para río Pejibaye mediante la implementación de una metodología de cálculo hidrobiológica, considerando variables de cambio climático*, con periodo de ejecución de enero del 2018 a diciembre de 2019.
- Como validación de una metodología holística: Por definir.

### CONCLUSIONES

De esta manera se instrumenta al país con las herramientas que permitan tratar el tema de determinación de caudal ambiental en las fuentes de agua de una manera científicamente válida y congruente con la atención a las necesidades ambientales que exige la gestión del recurso hídrico.

Corresponde a la Dirección de Agua, como ente administrador de las concesiones de agua en Costa Rica, la función de evaluar, para cada solicitud de concesión, las condiciones propias de la cuenca de forma integral, tomando en consideración las variables naturales así como los efectos acumulativos de otras concesiones producto de las condiciones antropogénicas.

Aun cuando una solicitud de concesión implique la aplicación de una metodología hidráulica o hidrológica, podría requerirse atención hacia alguna situación de índole ambiental o social en una escala menor.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arthington, A, y Zalucki, J (1998). Comparative evaluation of environmental Flow assessment techniques: review of methods. Land and Water Resources Research & Development Corporation.

Dirección de Agua (2017) Base de datos de concesiones de agua en Costa Rica del 2012 al 2016.

Castro L, Carvajal Y, Monsalve E. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental Ingeniería y Universidad. No2, Vol10. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/477/47710203/>

Conferencia de Brisbane (2007). 10° Simposio Internacional de Ríos y en la Conferencia Internacional de Caudales Ecológicos, Brisbane, Australia. Recuperado de: [http://icid.org/brisbane\\_decl\\_sp.pdf](http://icid.org/brisbane_decl_sp.pdf)

Proyecto de Ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Expediente 17.742

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2014). Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay. Montevideo. 31 p.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2017) Toolkit para Caudales Ambientales. Recuperado de: <https://es.unesco.org/node/275904>

Ley marco de Concesión para el Aprovechamiento de las Fuerzas Hidráulicas para la Generación Hidroeléctricas: Ley 8723. Costa Rica (2009). Recuperado de:

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=65395&nValor3=76451&param2=1&strTipM=TC&lResultado=1&strSim=simp](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=65395&nValor3=76451&param2=1&strTipM=TC&lResultado=1&strSim=simp)



## ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA (MINAS GERAIS, BRASIL)

Micael de Souza Fraga<sup>1</sup>, Demetrius David da Silva<sup>2</sup>, Felipe Bernardes Silva<sup>3</sup>, Marcel  
Carvalho Abreu<sup>4</sup> & Laura Thebit de Almeida<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: micaelfraga@gmail.com; <sup>2</sup>Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: demetrius@ufv.br; <sup>3</sup>Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: felipe.bernardes.ufv@gmail.com; <sup>4</sup>Doutorando em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: marcelc.abreu@gmail.com; <sup>5</sup>Doutoranda em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. E-mail: l.thebit@gmail.com.

**RESUMO:** A detecção de tendências em séries históricas de precipitação é importante para a gestão de recursos hídricos no setor agrícola, podendo ser feita por meio de testes estatísticos não paramétricos. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi analisar a tendência anual e mensal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Piranga, estado de Minas Gerais, Brasil, utilizando o teste de Pettitt. Na análise foram utilizadas séries históricas de precipitação das estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo utilizado o método do Polígono de Thiessen para identificar as estações pluviométricas com influência na bacia. Para todas as estações foi utilizado um período comum de 30 anos de dados (1986 - 2015). Os resultados das análises mostraram que nove estações pluviométricas da rede da ANA possuem influência na bacia, sendo que nenhuma delas apresentou qualquer tipo de tendência significativa para o total anual precipitado. Quando se analisou o total mensal, cinco estações apresentaram tendência positiva (aumento) da precipitação para os meses de março, abril, junho e novembro, com

muito claro que impacte igualmente a bacia, ressaltando a importância de estudos ainda mais regionais que possam auxiliar os órgãos públicos e privados na tomada de decisão.

**PALAVRAS-CHAVE:** chuva, estacionariedade, Pettitt.

## **TREND ANALYSIS IN HISTORICAL SERIES OF PRECIPITATION IN THE PIRANGA RIVER WATERSHED (MINAS GERAIS STATE, BRAZIL)**

**ABSTRACT:** Detection of trends in historical series of precipitation is important for the management of water resources in the agricultural sector and can be done using non-parametric statistical tests. Therefore, the objective of this work was to analyze the annual and monthly precipitation trend in the Piranga river basin, state of Minas Gerais, Brazil, using Pettitt test. This study used historical rainfall series of the hydro-meteorological network of the National Water Agency (ANA), using the Thiessen Polygon method to identify rainfall stations with influence in the basin. For all stations a common period of 30 years of data (1986 - 2015) was used. Test results showed that nine rainfall stations of the ANA network have influence in the basin, however and none of them presented any type of trend in the precipitation annual total variation. After analyzing the monthly total, the results showed that five seasons presented a positive trend (increase) in precipitation for the months of march, april, june and november, with a predominance of changes in the year of 2003. Therefore, it is understood that there is no common impact for the basin, indicating that additional regional studies are needed to assist public and private agencies in decision-making.

**KEYWORDS:** Pettitt, rain, stationarity.

### **INTRODUÇÃO**

Os recursos hídricos são um bem natural essencial para o desenvolvimento da sociedade, seja para o consumo humano ou para a produção industrial e agrícola. A falta ou escassez do mesmo pode ser um grande empecilho para o desenvolvimento de uma região.

Dentre todas as variáveis utilizadas para monitorar a disponibilidade hídrica, se de precipitação pluvial é importante em diferentes contextos, tais como a produção de alimentos, manejo dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, dentre outros. Para avaliar as tendências de aumento ou redução da pluviosidade de um determinado local, diversos autores vêm aplicando testes de análise de tendência (CERA e FERRAZ, 2014; FERREIRA et al., 2015; ULIANA et al., 2015; WANDERLEY et al., 20013). A identificação de tendências em dados de precipitação contribui para a compreensão da variabilidade climática global e é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (JOSEPH et al., 2013), podendo ser feita por meio de análise estatística, sendo o teste de Pettitt um dos mais utilizados.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi analisar a tendência de séries históricas de precipitação por meio de um teste estatístico não paramétrico na bacia do rio Piranga, Minas Gerais, de forma que as informações obtidas possam ser incorporadas em estudos de modelagem hidrológica e previsão climática.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Piranga (BHRPI), que, com uma área total de 6.611,31 km<sup>2</sup>, encontra-se totalmente inserida no Estado de Minas Gerais e é uma das sub-bacias do rio Doce. Considerando o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SIRGAS 2000 e zona 23 S, a bacia está contida entre os paralelos S: 7760000 – 7640000 e meridianos O: 600000 – 750000.

Para a análise, foram utilizadas séries históricas de precipitação das estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Para todas as estações, utilizou-se um período comum de 30 anos de dados (1986 - 2015). O inventário das estações é disponibilizado online via Portal HidroWeb da ANA.

Para identificar as estações pluviométricas com influência na bacia do rio Piranga, foi utilizado o método do Polígono de Thiessen. A metodologia consiste em conectar as estações por trechos retilíneos, traçando linhas perpendiculares a esses trechos passando pelo meio uma linha que liga as duas estações. As linhas perpendiculares são, então, prolongadas até

área de influência de cada estação. Sendo assim, foram selecionadas todas as estações que possuíam área de influência na bacia do rio Piranga.

Para a identificação de tendência nas séries históricas de precipitação anual e mensal foi utilizado o teste de Pettitt (PETTITT, 1979) ao nível de 5% de significância. Este teste indica o ponto em que houve uma mudança brusca na média de uma série temporal, com isso, identificam-se períodos com comportamentos distintos na série histórica. A hipótese nula do teste admite ausência de um ponto de mudança na série.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado o resultado da seleção das estações pluviométricas pela metodologia do Polígono de Thiessen. No total foram selecionadas nove estações com área de influência na bacia do rio Piranga.

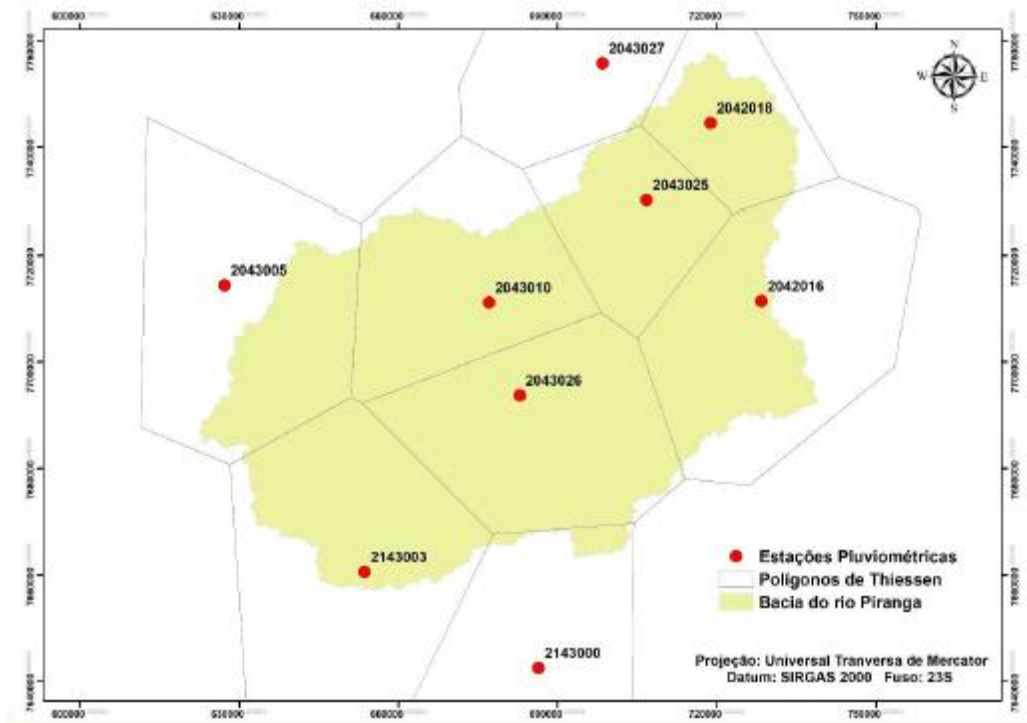


Figura 1. Seleção das estações pluviométricas pela metodologia do Polígono de Thiessen

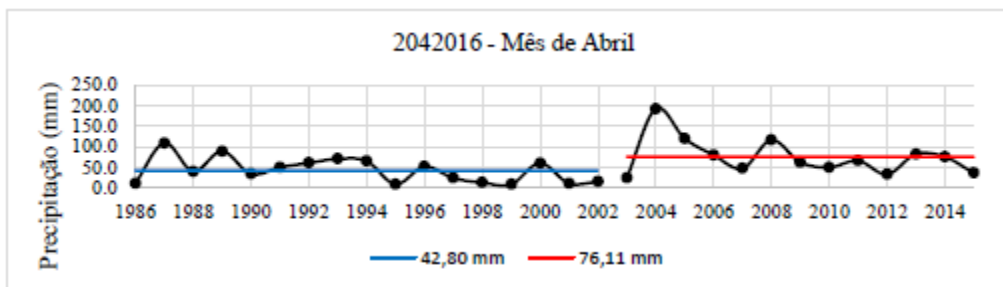
Analisando os resultados do total anual precipitado para todas as estações selecionadas, foi observado, pelo teste de Pettitt, que nenhuma das estações apresentou tendência para o período avaliado, indicando que não há tendência de aumento ou redução da precipitação total anual na bacia. Quando se analisou os dados mensalmente, foi constatado que cinco estações pluviométricas com influência na bacia do rio Piranga apresentaram tendência significativa em seus dados (Tabela 1)

**Tabela 1.** Resultado do teste de Pettitt para os dados de precipitação média mensal

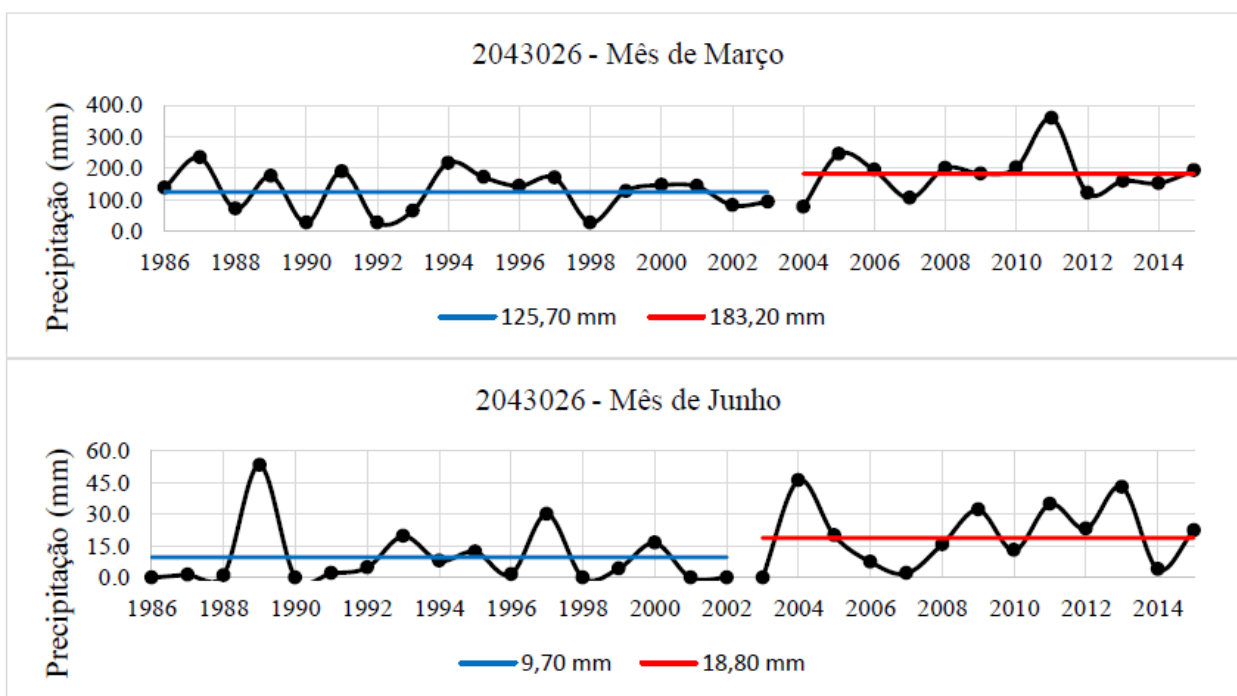
Mês	Estação Pluviométrica								
	2042016	2042018	2043010	2043025	2043026	2043027	2143000	2143003	2143005
Jan.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fev.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar.	-	-	-	-	2004*	-	-	-	-
Abr.	2003*	-	-	-	-	-	-	-	-
Mai.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun.	-	-	-	-	2003*	2003*	2003*	2003*	-
Jul.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ago.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Set.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov.	-	-	-	-	-	-	1995*	-	-
Dez.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Ano de ruptura da série histórica de precipitação

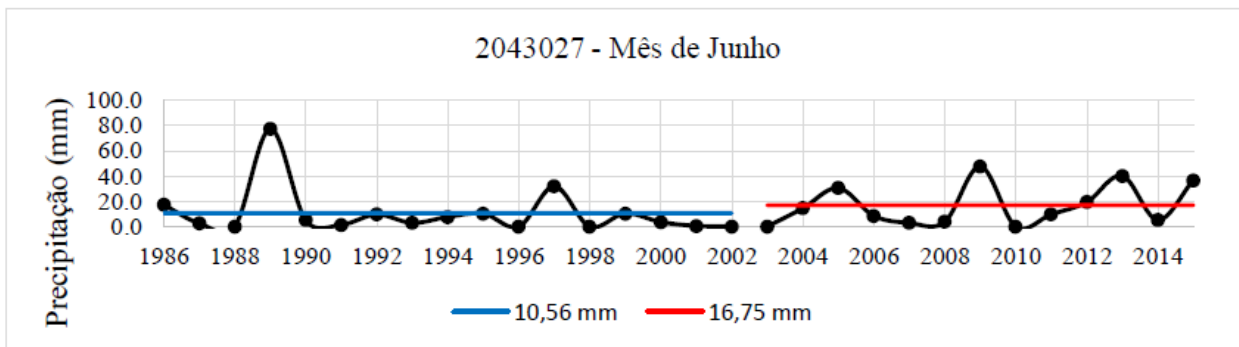
A tendência nos meses foi detectada uma vez que o valor da estatística do teste ultrapassou o valor crítico. A vantagem do teste de Pettitt em relação a outros testes de tendência é que ele permite a identificação do ano de mudança de tendência na série histórica, com isso, identificam-se períodos com comportamentos distintos. Sendo assim foi possível dividir a série e verificar se houve incremento ou redução nos dados de precipitação como pode ser observado nas Figuras 2,3,4,5 e 6.



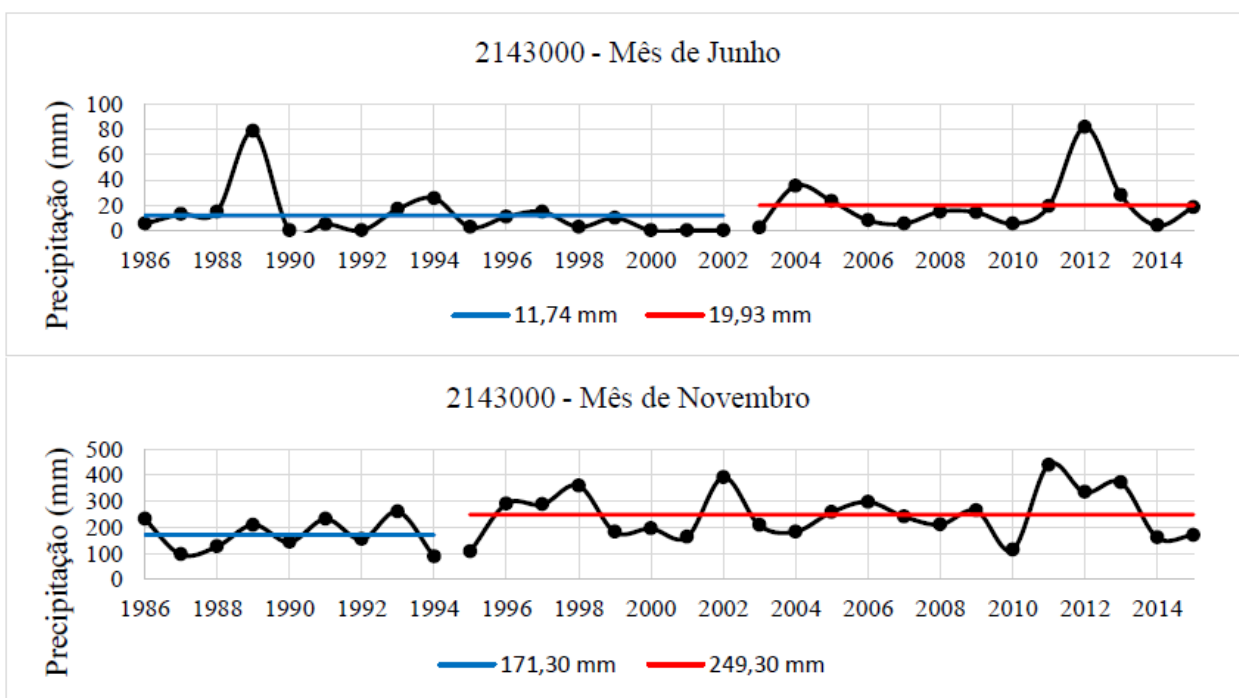
**Figura 2.** Série histórica de precipitação para o mês com tendência da estação 2042016.



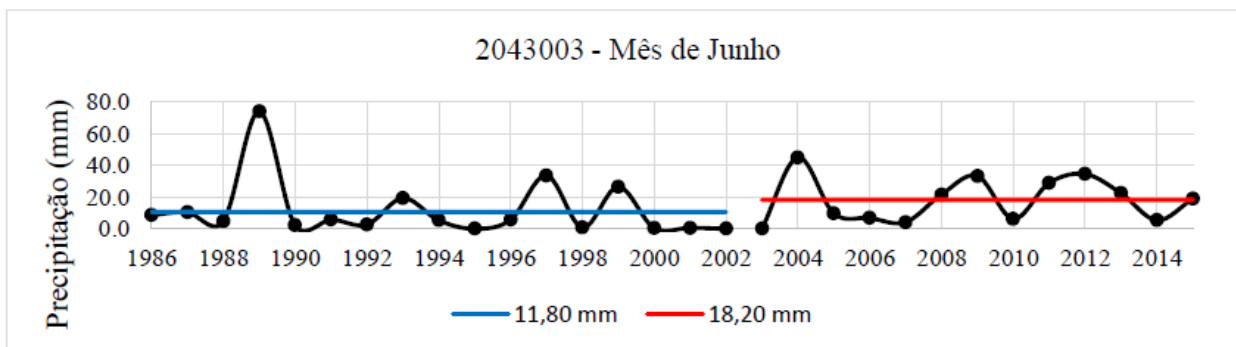
**Figura 3.** Série histórica de precipitação para os meses com tendência da estação 2043026.



**Figura 4.** Série histórica de precipitação para os meses com tendência da estação 2043027.



**Figura 5.** Série histórica de precipitação para os meses com tendência da estação 2143000.



**Figura 6.** Série histórica de precipitação para o mês com tendência da estação 2043003.

Como pode ser observado, todos os meses com tendência significativa pelo teste de Pettitt apresentaram um aumento no seu total precipitado, sendo que 4 das 5 estações apresentaram tendência para o mês de junho com ponto de mudança no ano de 2003. Entretanto, com o teste de Pettitt só é possível afirmar apenas que a precipitação associada a determinado período apresenta tendência significativa ou não, sendo necessário realizar estudos adicionais para identificação das causas deste comportamento, tais como variações

## CONCLUSÕES

Não foram constatadas tendências para os dados das estações pluviométricas quando analisadas as séries históricas de precipitação anual pelo teste de Pettitt.

O teste de Pettitt possibilitou a identificação de tendência significativa positiva nas séries históricas de precipitação mensal, sendo a maioria delas ocorrendo no mês de junho e com ponto de mudança no ano de 2003.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão do auxílio financeiro para a participação do primeiro autor no evento.



## REFERÊNCIAS

- CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente de futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n.1, p.81-88, 2014.
- FERREIRA, D. H. L.; PENNEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do rio Tietê. *HOLOS*, v.2, p.50-68, 2015.
- JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950-2009. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.18, n.2, p.1653-1662, 2013.
- PETTITT, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, v.28, p.126-135, 1979.
- ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. *Ambiente & Água*, v.10, n.1, p.82-88, 2015.
- WANDERLEY, H. S.; SEDIYAMA, G. C.; JUSTINO, F. B.; ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C. Variabilidade de precipitação no sertão do São Francisco, estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.7, p.790-795, 2013.

## USO DE GÁS CARBÔNICO E HIDRÓXIDO DE CALCIO NA REMOÇÃO DE DUREZA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO

**Francinete Veloso Duarte<sup>(1)</sup>**. Docente no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), Química pela UFMG e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (DESA/UFMG).

**Hermes Marçal da Silva<sup>(2)</sup>**. Engenheiro Agrícola e Ambiental em 2017 na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>**: Rua Engenheiro Eugênio Benjamim Silva, 325 – Morada da Serra – Montes Claros - MG - CEP: 39401776 - Brasil - Tel: (38) 999974889 - e-mail: [francinete@ufmg.br](mailto:francinete@ufmg.br)

### RESUMO

A qualidade da água é entendida como resultado das ações antrópicas e da sua interação com o meio físico. Assim a água possui características físicas, químicas e biológicas em virtude de suas propriedades de solvente e de sua capacidade de transportar partículas. Dentre as características químicas está a dureza carbonato que representa a concentração de íons como o cálcio e o magnésio em solução. Esses íons estão presentes na água através das reações ácido-base que, normalmente, retiram-nos de rochas. Em níveis elevados de dureza carbonato a água apresenta um sabor diferenciado o que pode ser desagradável para as pessoas. O objetivo desse trabalho é verificar a remoção dos carbonatos de cálcio e magnésio pela dissolução de gás carbônico e hidróxido de cálcio, alterando o equilíbrio do sistema carbonato. Foram testadas água carbonatada, água carbonatada e aerada e a água natural com cinco concentrações de hidróxido de cálcio (0, 25, 50, 75 e 150 mg L<sup>-1</sup>). O parâmetro avaliado foi a dureza carbonato. Os experimentos se configuraram em fatorial com dois fatores, aplicou-se o teste Tukey a um nível de 1% de significância. Os resultados mostraram que o fator água e o fator concentração de hidróxido foram significativos a 1% de significância, já a interação dos dois fatores não. Contudo o melhor resultado na remoção da dureza foi a concentração de 150 mg L<sup>-1</sup> de hidróxido de cálcio em água carbonatada e aerada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de água, Dureza, Gás carbônico, Precipitação de carbonato.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso inorgânico de fundamental importância para a manutenção da vida na terra além de estar presente em quantidades consideráveis como constituinte da matéria viva. Diante disso, surge a preocupação com a qualidade da água que na visão da engenharia ambiental está relacionado às várias partículas e impurezas dissolvidas ou em suspensão presentes na água em virtude de suas propriedades de solvente e da sua capacidade de transportar partículas. Com isso, a qualidade da água é entendida como sendo suas características físicas, químicas e biológicas, como resultado de suas interações com o ambiente natural e com as ações antrópicas.

Dentre os parâmetros de qualidade da água, a dureza é frequente em áreas com a presença de rochas calcárias, e ela se manifesta pela resistência à reação de saponificação e ainda dependendo de sua concentração é perceptível à população, de acordo com a Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, a dureza máxima permitida para atender os padrões de potabilidade é de 500 ppm em carbonato de cálcio.

Os corpos d'água naturais como rios, oceanos e lençóis freáticos estão sujeitos a reações químicas com a matéria que os envolvem. Essas interações ácido-base geralmente são as que ditam a variação do pH e das concentrações de íons dessas águas. Um exemplo dessas interações é a dissolução do CO<sub>2</sub> atmosférico na água formando o H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e este pode dissociar-se em H<sup>+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> que confere a água poder de dissolver sais e disponibilizar partículas na solução. Assim a presença de certos íons como o cálcio na água se dá, principalmente, pela dissolução do sal CaCO<sub>3</sub> em decorrência do aumento do pH. Esse CaCO<sub>3</sub> é proveniente basicamente de rochas calcárias em contato com a água, que apesar de ser pouco solúvel em água é responsável pela maior ocorrência dos íons CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e Ca<sup>2+</sup>. Essas reações de dissolução do CO<sub>2</sub> e do CaCO<sub>3</sub> não acontecem isoladamente no meio ambiente e sim simultaneamente, formando o equilíbrio entre a água, o CaCO<sub>3</sub> e o CO<sub>2</sub> atmosférico ou equilíbrio carbonato (BAIRD; CANN, 2011).

Pesquisas baseadas nas reações de equilíbrio e nas relações entre o carbonato de cálcio e o dióxido de carbono utilizam a dissolução do CO<sub>2</sub> como forma de obter o carbonato de cálcio por precipitação química. Esses estudos visam tanto melhorar a qualidade do carbonato de

cálcio precipitado, utilizado na indústria, como reduzir os índices de dureza em águas calcárias. Souto (2008), diz que altas concentrações de dióxido de carbono e hidróxido de cálcio contribuem para a qualidade do carbonato de cálcio precipitado aumentando sua área específica. Outras pesquisas, no âmbito de retirar e utilizar o dióxido de carbono da atmosfera de forma a aprisioná-lo sob a forma mineral são desenvolvidas. De acordo Amâncio (2007), o aumento na concentração de CO<sub>2</sub> leva a um aumento na taxa de crescimento da alga coralínea representado pela precipitação do carbonato de cálcio reduzindo assim os índices de cálcio da água e do CO<sub>2</sub> atmosférico. Já Klunk (2009), obteve 91,7% de rendimento na precipitação do carbonato de magnésio pela injeção de CO<sub>2</sub> em solução contendo íons de magnésio.

Como forma de utilizar o CO<sub>2</sub> visando a redução de sua concentração na atmosfera, e obter condições experimentais para diminuir o nível de dureza carbonato da água para fins de potabilização, objetivou-se nesse trabalho avaliar o abrandamento da água calcária utilizando diferentes níveis de concentração de hidróxido de cálcio relacionados à água natural e a água carbonatada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de água analisadas foram retiradas em poço tubular no distrito de Quem Quem de Latitude: 16°00'35" S e Longitude: 43°31'30" W, no município de Janaúba/MG/Brasil, armazenadas em galões e levadas para análise no Laboratório de Química Analítica do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) localizado no campus regional da UFMG em Montes Claros/MG/Brasil..

Foram testados três tipos de água correlacionados a um tipo de aditivo sendo que este ainda se dividiu em cinco concentrações. Os tipos de água eram água carbonatada seguida de aeração (Água carbonatada e aerada), água apenas aerada (Água aerada) e a água sem nenhum tratamento (Água natural). O aditivo foi o hidróxido de cálcio. A água bruta apresentou uma dureza de 528 ppm em CaCO<sub>3</sub>.

Foi utilizado gás carbônico White Martins com 95% de pureza e o processo de injeção de dióxido de carbono, a carbonatação, se deu a uma vazão média de  $\text{CO}_2$  de  $6\text{L min}^{-1}$  até o pH da água atingir um valor de saturação em torno de 5,5 (DUARTE, 2010). Já a aeração foi realizada utilizando um compressor e a injeção de ar ocorreu até um valor de pH constante, em média 8,63. Para a distribuição dos gases utilizou-se injetores, de 15 cm, de sílica porosa para aquário. A carbonatação e aeração foram realizadas em um recipiente de vidro com dimensões de 20x40x40 contendo 20 litros de água para o tratamento gasoso. Alíquotas de 1 litro eram retiradas após o tratamento gasoso e colocada em béqueres com o auxílio de uma proveta. A partir de então era adicionado as concentrações de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , nas quantidades de 0, 25, 50, 75 e  $150\text{ mg L}^{-1}$ , pesados balança analítica. Após a adição do hidróxido de cálcio as amostras eram homogeneizadas em agitador magnético sob agitação, por 5 minutos. Ao final da homogeneização de cada amostra as mesmas eram colocadas em repouso por período de 2 horas. E logo após, passavam por filtração a vácuo, utilizando papel de filtro de porosidade  $40\ \mu\text{m}$  e os valores de dureza carbonato da água eram determinados. Para a determinação da dureza carbonato utilizou-se a titulometria de acordo com APHA (2005).

O experimento se deu com três fatores com três repetições. Foi realizada a análise estatística aplicando-se o teste Tukey a um nível de significância 1%. O software utilizado foi o SISVAR.

### ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da ANOVA mostram que houve interação significativa para o fator águas e para o fator concentração, como mostra a Tabela 1.

*Tabela 4 - Resultado da ANOVA para os testes de dureza.*

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Águas	2	98342,39604	49171,19802	44,161	0.0000*
Concentração	4	86318,20488	21579,55122	19,381	0.0000*
Águas x Concentração	8	5233,291093	654,161387	0,588	0.7801
Erro	30	33403,95467	1113,465156		
CV(%)	8,29				
Média geral	402,5173				

\*\*valores  $Pr > Fc$  iguais ou menores que 0,01(\*) indicam diferença significativa ao nível de 1%. CV e média geral correspondem à variável dureza final; GL: Graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrados médios; Fc: Teste de Fisher;  $Pr > Fc$ : probabilidade.

O desdobramento dos fatores, feito pelo teste Tukey a 1% de probabilidade, mostrou que o tratamento que obteve melhor resultado foi o que utilizou o hidróxido de cálcio associado a uma água carbonatada e aerada, como é ilustrado na Figura 1. Já o tratamento que obteve pior resultado na redução da dureza foi o que não utilizou o hidróxido de cálcio em água e não teve nenhum tratamento gasoso.

Na Figura 1 estão apresentadas as taxas de remoção de dureza carbonato em função dos tipos de água utilizados (carbonatada e aerada; aerada e natural) e dos níveis de concentrações de  $\text{Ca(OH)}_2$  (0, 25, 50, 75 e 150  $\text{mg L}^{-1}$ ).

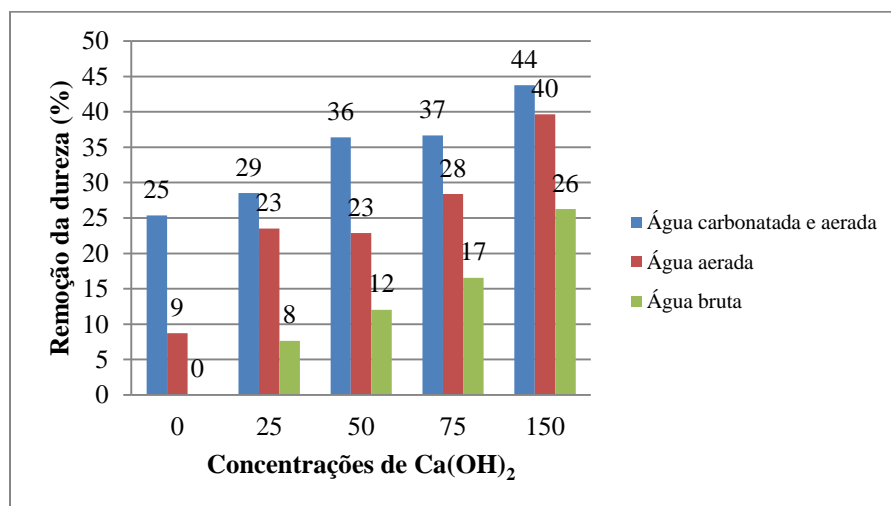
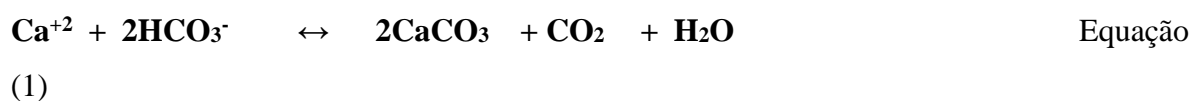


Figura 1 - Taxas de remoção de dureza (%) em função das concentrações de  $\text{Ca(OH)}_2$  e do tipo de água.

A taxa de redução da dureza chegou a um valor de 44% em comparação com a dureza inicial da água, de 528 ppm em  $\text{CaCO}_3$ . A menor taxa de redução da dureza ocorreu nos tratamentos que receberam 0  $\text{mg L}^{-1}$  e 25  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca(OH)}_2$  em água bruta e em água aerada, respectivamente. Observa-se uma maior eficiência na redução da dureza carbonato pelo uso do processo de carbonatação seguida da aeração da água. O resultado mais expressivo foi na concentração de 150  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Foi observado que para os três tipos de água, o aumento da concentração do  $\text{Ca(OH)}_2$  representou uma redução do nível de dureza constatado pela significância estatística desse fator a um nível de significância de 1%. Resultados semelhantes foram observados por Dey, Herzog e Srinivasan (2007), que aumentando em até 90% a quantidade estequiométrica do  $\text{CaO}$  obtiveram redução na dureza total, porém para valores acima de 120% na quantidade estequiométrica a dureza carbonato aumentou.

Nos tratamentos em que a água foi carbonatada e aerada a eficiência na remoção da dureza carbonato pode ser explicada pela mineralização do  $\text{CO}_2$  que quando dissolvido em água forma o ácido carbônico que se dissocia nos íons  $\text{H}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$ . A maior concentração de bicarbonato na solução associada ao hidróxido de cálcio tende a deslocar o equilíbrio da reação entre bicarbonato e cálcio formando o carbonato de cálcio, Equação 1, pouco solúvel em água (STUMM, 1996).



Nas Figuras 2 e 3 a seguir, são apresentados os resultados da análise de regressão linear para os valores de dureza em função da concentração de hidróxido de cálcio após os testes em água carbonatada e aerada e em água aerada, respectivamente.

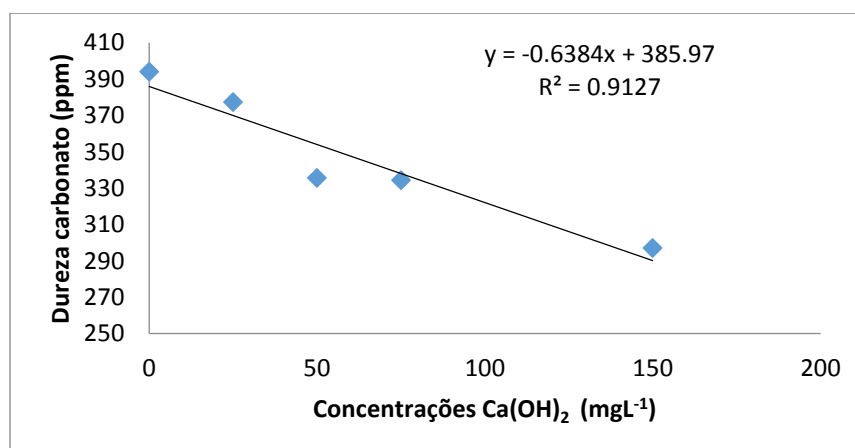
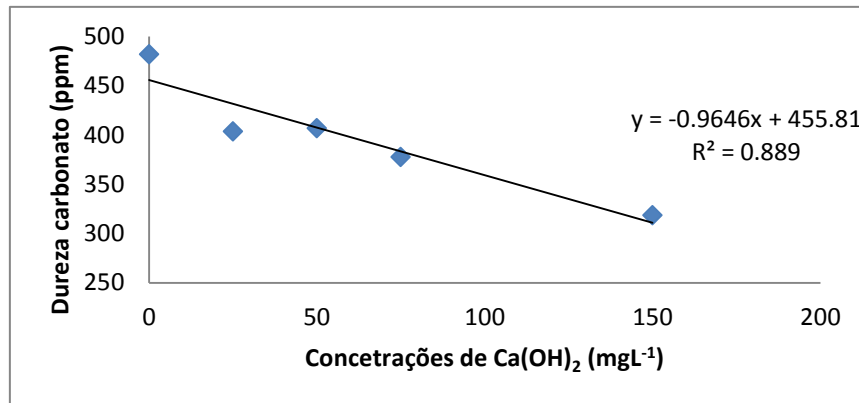


Figura 2 - Regressão linear dos valores de dureza, obtidos em água carbonatada e aerada com adição de hidróxido de cálcio.



*Figura 19 - Regressão linear dos valores de dureza obtidos em água aerada com adição de hidróxido de cálcio.*

O valor da dureza inicial nos tratamentos que com 0 mg L<sup>-1</sup> de hidróxido de cálcio foi diferente entre os experimentos com água carbonatada e aerada e com água aerada conforme as Figuras 2 e 3, respectivamente. Esse fato mostra que a injeção de gás carbônico e ar já alteram o valor da dureza carbonato da água natural, uma vez que a determinação da dureza foi realizada na amostra após o processo de injeção de gás carbônico e ar. A injeção de ar acelera a saída do CO<sub>2</sub> deslocando o equilíbrio da reação, Equação (1), aumentando a formação de precipitado. Numerosos trabalhos têm sido publicados sobre a precipitação de carbonato de cálcio, causada pela perda de CO<sub>2</sub>, mostrando que a precipitação pode ocorrer a valores de pH inferiores a 8 e que a precipitação depende da velocidade da perda de gás carbônico (CLARKSON et al.; GAL et al., 2002a e 2002b).

A partir da análise das curvas de regressão, Figuras 2 e 3, pode-se observar que há uma relação entre a dureza carbonato da água e as concentrações de hidróxido de cálcio sendo que nas duas situações tem-se a reta decrescente evidenciando que há remoção da dureza carbonato especialmente nas concentrações de 75 e 150 mg L<sup>-1</sup>. Observa-se também um elevado valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) sendo que o maior valor está no tratamento em que a água foi carbonatada e aerada isso evidencia também uma relação direta entre a



remoção da dureza carbonato com o tipo de tratamento gasoso que a água recebe. O objetivo da adição de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  é elevar o pH da água favorecendo a precipitação do carbonato e também como efeito sinérgico o aumento do  $\text{Ca}^{+2}$  desloca o equilíbrio favorecendo a precipitação.

Apenas a carbonatação seguida da aeração reduziu a dureza de 528 ppm para 394 ppm, sem adição de hidróxido de cálcio, Figura 2, enquanto que a aeração reduziu para 482 ppm. Indicando assim que o aumento de bicarbonato e a saída rápida de  $\text{CO}_2$  reduz significativamente a dureza. Sugere-se otimizar o sistema de aeração com sistemas de microbolhas para o possível aumento da eficiência da aeração após carbonatação, aumentando a precipitação do carbonato com o aumento da velocidade de saída do  $\text{CO}_2$ .

### CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o processo de carbonatação seguida da aeração da água calcária leva a uma remoção de 25% da dureza, com a mineralização de parte do  $\text{CO}_2$  e deixando a água dentro dos padrões de potabilidade. Essa taxa de redução da dureza carbonato pode ser aumentada com a adição de hidróxido de cálcio, podendo chegar a uma redução de 44% com  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

O presente trabalho contou com o apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA/MG).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMANCIO, C. E., 2007. Precipitação de  $\text{CaCO}_3$  em algas marinhas calcária e balanço de  $\text{CO}_2$  atmosférico: os depósitos calcários marinhos podem atuar como reservas planetárias de carbono?. 47f. Dissertação –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed.. Washington: APHA, 2005.
- BAIRD, C.; CANN, M., 2011. A química das Águas Naturais. In: (Coord.). Química Ambiental. 6. ed. Porto Alegre: ARTMED. P. 579-682.

CLARKSON, J. R.; PRICE, T. J.; ADANS, C. J., 1992. Role of metastable phases in the spontaneous precipitation of calcium carbonate. *J. Chemical Society Faraday Transaction*, v.88, n. 2, pp. 243-249.

DEY, D.; HERZOG, A.; SRINIVASAN, V., 2007. Chemical precipitation: water softening. Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University. East Lansing, MI 48824.

DUARTE, F. V., 2010. Influência da aplicação de gás carbônico na redução de precipitação de carbonatos em sistema de irrigação localizada. 120f. Tese (Doutorado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – DESA/ UFMG, Belo Horizonte, 2010.

GAL, J.Y.; FOVET, Y.; GACHE, N., 2002 (a). Mechanisms of scale formation and carbon dioxide partial pressure influence. Part II. *Water Research*, v.36, p. 755-763.

GAL, J.Y.; FOVET, Y.; GACHE, N., 2002 (b). Mechanisms of scale formation and carbon dioxide partial pressure influence. Part II. *Water Research*, v.36, p. 764-773.

SOUTO, E. C. S., 2008. Estudo de condições operacionais para obtenção de carbonato de cálcio precipitado. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Programa de pós-graduação, UFU, Uberlândia.

Stumm, W.; Morgam, James J., 1996. Aquatic chemistry: Chemical Equilibria in Natural Waters, 3<sup>th</sup> ed., Wiley: New York. 1024p.

KLUNK, M. A., 2009. Sequestro de CO<sub>2</sub> sob a forma mineral: precipitação de carbonato de magnésio. 63f. Dissertação–Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, RS.

## **ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE FLÚOR SOBRE GFH EN AGUA AGRÍCOLA**

**Study of the Removal of Fluorine on GFH in Agricultural Water**

**Zavala- Sandoval J<sup>1</sup>., Saldaña-Robles A<sup>1\*</sup>., Damián-Ascencio C.E<sup>2</sup>., Cano-Andrade S<sup>2</sup>., Gallegos-Muños A<sup>2</sup>., Cepeda-Negrete J<sup>1</sup>.,**

**<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal, Km. 9. Carretera Irapuato-Silao, C.P. 36500. Irapuato, Gto., México. Teléfono: (01) 4626241889. Ext 1542, email: [adriana.saldana@ugto.mx](mailto:adriana.saldana@ugto.mx).**

**<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal, Km. 9. Carretera Irapuato-Silao, C.P. 36500. Irapuato, Gto., México.**

### **RESUMEN**

Actualmente en el estado de Guanajuato se tiene presencia de altas concentraciones de Fluoruros ( $F^-$ ) las cuales sobrepasan el límite permitido por la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1993, la cual permite  $1.50 \text{ mg L}^{-1}$ . En el estado se han encontrado valores que varían de 3 hasta más de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de  $F^-$  en agua de pozo. La medición de los valores del fluoruro se vuelve crítica en la caracterización de la calidad del agua, ya que la mayor parte de contaminación por  $F^-$  se ha encontrado en aguas subterráneas. La concentración en agua para consumo humano generalmente causa problemas de salud, tales como, fluorosis dental. Además de este problema, tenemos el uso de estas aguas el riego agrícola se vuelve potencialmente peligroso podría causar problemas en la producción de cultivos y su transferencia a la cadena alimenticia, por lo que este estudio plantea la remoción de flúor a través del proceso de adsorción de  $F^-$  sobre el Hidróxido Férrico Granular (GFH), donde se proba el modelo de ajuste de isoterma de Langmuir, optimizando las condiciones de pH, tiempo de adsorción en 24 a 48 horas y masa de GFH, a diferentes concentraciones de  $F^-$  para lograr la mayor adsorción posible. En este trabajo se ha encontrado que en las diferentes concentraciones de  $F^-$  disminuyen del medio líquido al aumentar la temperatura, por lo que la capacidad de adsorción aumentó en 12% cuando la temperatura bajó de 30 a 10 °C en tiempos de 24 horas, además los datos experimentales obtenidos presentaron un buen ajuste al modelo de Langmuir.

## SUMMARY

Currently in the state of Guanajuato has high concentrations of fluoro ( $F^-$ ) which exceed the limit allowed by the Official Mexican Standard 127-SSA1-1993, which allows 1.50 mg L<sup>-1</sup>. In the state, values have been found that vary from 3 to more than 10 mg L<sup>-1</sup> of  $F^-$  in well water. The measurement of fluoride values becomes critical in the water quality characteristic, since most of the contamination has been found in groundwater. Concentration in water for human consumption usually causes health problems, such as dental fluorosis. In addition to this problem, we have the use of these waters, the agricultural liquid can become dangerous and can cause problems in the production of crops and their transfer to the food chain, so this study proposes the removal of water through the process of adsorption. of  $F^-$  on the Granular Ferric Hydroxide (GFH), where the Langmuir isotherm adjustment model was tested, optimizing the pH conditions, adsorption time in 24 to 48 hours and mass of GFH, a different concentration of  $F^-$  for achieve the highest possible adsorption. At this time the work has been found at different levels of  $F^-$  decreased from the liquid medium with increasing temperature, so that the adsorption capacity increased by 12% when the temperature dropped from 30 to 10 ° C in 24-hour periods. In addition to the experimental data, a good adjustment was made to the Langmuir model.

## PALABRAS CLAVE

1.- Adsorción, 2.- Concentración, 3.- Optimización.

## KEYWORDS

1.- Adsorption, 2.- Concentration, 3.- Optimization

## INTRODUCCION

La presencia de flúor ( $F^-$ ) en las aguas subterráneas se observa con frecuencia en todo el mundo. Un alto contenido en la concentración de flúor en agua para consumo humano generalmente causa problemas de salud, además puede causar problemas en la producción de cultivos y en la cadena alimentaria [1,2,6].

El estado actual del problema del  $F^-$  en el estado de Guanajuato, en municipio de Irapuato, es muy complejo, por un lado, encontramos la problemática de altas concentraciones de  $F^-$  en el agua de los pozos, en los diversos usos que se le dan al agua, entre ellos encontramos el riego agrícola, aunque en la actualidad, la mayoría de los estudios se dirigen a aguas potables. Esta diferenciación se debe al mayor volumen necesario para las aguas de riego y el hecho de que diversas tecnologías de tratamiento no sean válidas o aplicables para estos elevados caudales [4,3,5].

El uso agrícola del agua es un uso potencialmente peligroso, por lo que surge la necesidad de caracterizar el agua de uso agrícola en la zona del bajío, así como buscar tratamientos que disminuyan la concentración de  $F^-$  presente en estas aguas. El conjunto de pozos hasta ahora analizados [8] muestra que los Fluoruros ( $F^-$ ) en la zona del bajío es alto, sobrepasa el límite permitido por la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1993 la cual permite  $1.50 \text{ mg L}^{-1}$ , lo que en el estado se encuentran valores que varían de 3 hasta más de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ [7].

En cuanto al uso agrícola, diversos estudios, han mostrado que la complejidad de eliminar  $F^-$  en grandes volúmenes de agua, por lo que el siguiente estudio plantea que el proceso de adsorción de  $F^-$  sobre el Hidróxido Férrico Granular (GFH), es capaz de disminuir la concentración de flúor por debajo de los  $1.5 \text{ mg L}^{-1}$  en grandes volúmenes de agua de uso agrícola para el municipio de Irapuato [8,9].

La adsorción es un proceso de transferencia de masa desde la fase líquida a la superficie de un sólido, por fuerzas químicas o físicas. Es un fenómeno superficial en donde se utiliza un material adsorbente para capturar las partículas de interés, en este caso será utilizado el GFH [9,10].

Los óxidos de hierro son adsorbentes ampliamente utilizados en los tratamientos de filtración para la remoción de diversos residuos inorgánicos encontrados en los diversos pozos, este estudio pretende demostrar que el efecto que tiene la temperatura y el pH sobre la capacidad de adsorción del  $F^-$  sobre el GFH [11,12].

## MATERIALES Y METÓDOS

El GFH fue obtenido de Wasserchemie GmbH and Co.KG. Germany. Durante el proceso de manufacturación, el GFH es producido a partir de una solución de cloruro férrico por neutralización y precipitación con *NaOH*. Consiste en un oxi-hidróxido férrico con una humedad del 43 al 48% y una porosidad del 72 al 77%. El tamaño de grano es de 0.32 a 2 mm según la hoja técnica del fabricante. Las propiedades de GEH son especificadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de GFH.

<b>Propiedades</b>	
<b>Composición química</b>	$\beta$ -FeOOH Fe(OH) <sub>3</sub>
<b>Contenido de solidos secos</b>	57% ( $\pm 10\%$ )
<b>Tamaño de partículas</b>	0.2-2.0 mm
<b>Contenido de hierro</b>	610 g/kg
<b>Densidad</b>	1150 kg/m <sup>3</sup> ( $\pm 10\%$ )
<b>Superficie específica</b>	300 m <sup>2</sup> / g

El GFH presenta una estructura cristalina en forma de octaedro, con un ión cloruro al centro tal como es mostrado por la Figura 1.

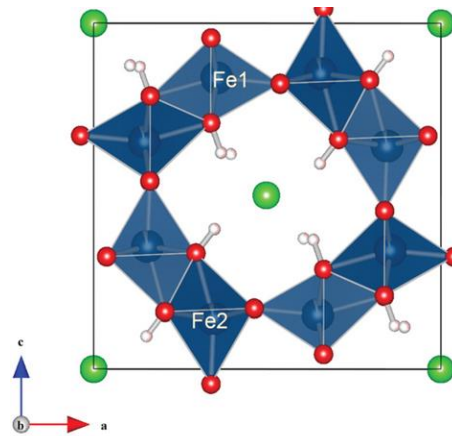


Figura 1. Estructura cristalina del GFH.

La información resultante de las isotermas de adsorción es necesaria para evaluar la capacidad de adsorción e investigar las características de adsorción. Una cantidad de GFH 0.050 g fue puesta en un frasco de 40 mL con 40 mL de solución con  $\text{NaF}^-$  a  $4 \text{ mg L}^{-1}$  hasta  $40 \text{ mg L}^{-1}$ . Estos conjuntos de experimentos fueron agitados a 150 rpm usando un agitador orbital KS 3000 i control por 24 h, a un pH constante de 4 para tres temperaturas (10, 20 y  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Para cada conjunto de datos se realizó una muestra control, es decir un blanco (sin GEH). El pH de cada muestra fue ajustado usando una solución de NaOH 0.1 M o  $\text{HNO}_3$  al 30 % para obtener el pH deseado, la Figura 2 muestra el esquema del conjunto empleado en el laboratorio.

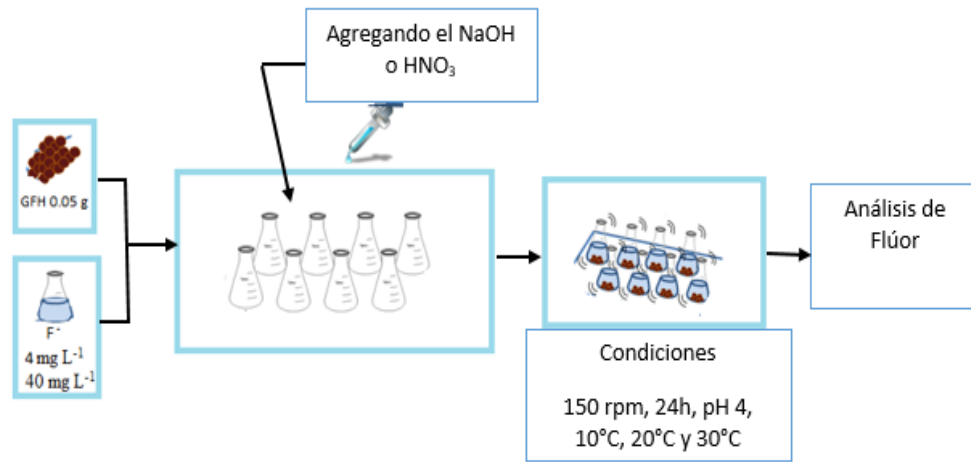


Figura 2. Esquema del conjunto empleado en el laboratorio para las isotermas.

### Modelo de Langmuir

La isoterma de Langmuir fue la primera isoterma de aproximación presentada. Esta se basa sobre la suposición de que la adsorción se da en una sola capa sobre la superficie, y la velocidad de adsorción es igual a la velocidad de desorción, lo cual es asumido debido a la energía de adsorción constante, implicando que la superficie es uniforme y cuando la superficie se cubre completamente (monocapa) se alcanza la saturación.

La isoterma de Langmuir para una interface líquido-sólido puede ser descrita como muestra la Ec. (1).

$$q = \frac{abC_{eq}}{1 + bC_{eq}} \quad (1)$$

Donde  $q$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) es la capacidad de adsorción,  $a$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) es la capacidad de la monocapa,  $b$  ( $\text{g mg}^{-1}$ ) es una constante y  $C_{eq}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) es la concentración del adsorbato en el equilibrio. La ecuación linealizada está dada por la Ec. (2).

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{a} + \frac{1}{abC_{eq}} \quad (2)$$



La gráfica del modelo lineal puede ser interpretada de la siguiente forma,  $1/ab$  es la pendiente y  $1/a$  es la intercepción con el eje  $1/q$  y de esta manera calcular las constantes de Langmuir. La constante  $a$  es la adsorción máxima por unidad de masa y  $b$  es una constante relacionada a la energía de adsorción.

## RESULTADOS

Los parámetros de las isotermas de adsorción para As (V) a 12, 25 y 45 °C a un pH de 4 son mostrados en la Tabla 2. El  $R^2$  del modelo de Langmuir fue mayor que 0.96 para todas las temperaturas. En general, el modelo de Langmuir ajusta mejor para la temperatura de 10 °C. La Tabla 2 muestra el modelo de Langmuir, en donde la capacidad de adsorción aumentó para el caso de 10 °C con respecto al caso de 30 °C. El ajuste al modelo de los datos experimentales explica el tipo de adsorción que se está llevado a cabo, en este caso en particular hablamos de una adsorción mono-capa lo que sugiere que cada sitio de adsorción tiene la misma energía disponible para que se lleve a cabo la adsorción.

Tabla 2. Parámetros de Langmuir para las isotermas a 10, 20 y 30 °C.

Temperatura (°C)	Modelo			
	Langmuir			
	$q_L$	$b$	$R^2$	SE
	$(mg\ g^{-1})$			
10	64.759	0.0408059	0.977225	2.43333
20	59.6284	0.0462246	0.968705	3.17054
30	52.3309	0.0648079	0.965002	2.83954

La Figura 3 nos muestra el ajuste del modelo de Langmuir para el a) a 30°C, el b) 20 °C y el c) 30°C, en donde se observa que el mejor ajuste fue obtenido en la grafica mostrada en el c).

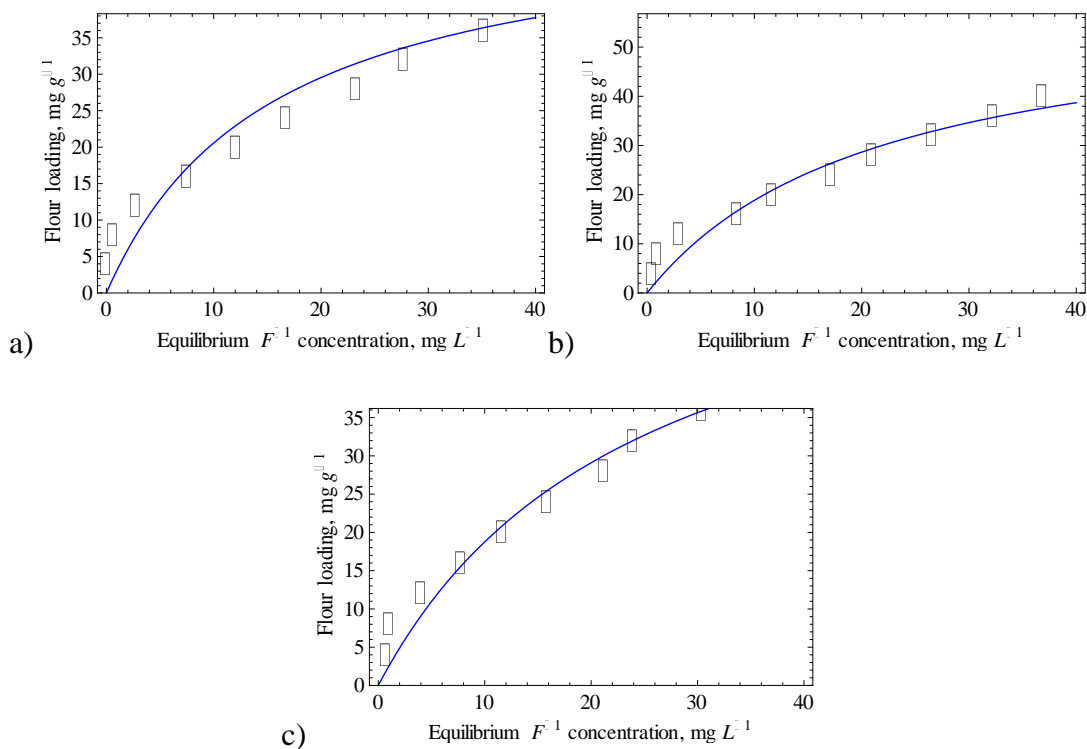


Figura 3. Curvas de adsorción para F<sup>-</sup> un pH 7.4 para el modelo de isotermas de a) 30°C, b) 20°C y c) 10°C

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la mayor adsorción de Flúor se presenta para condiciones de un tiempo de 24 horas, sometido a una temperatura de 10°C obteniendo un 64 mg g<sup>-1</sup> de adsorción con respecto al modelo de isoterma de Langmuir, y de igual modo mostrando un buen ajuste al modelo.

De los resultados obtenidos se encontró que los factores estudiados que afectan de forma más significativa la adsorción de Flúor son la temperatura empleada, ya que pareciera que a menores temperaturas se logra mayor adsorción.

S plantea estudiar los datos a través de los modelos de Freundlich y Duvinin-Radskevich con el fin de demostrar buscar un mejor ajuste de los datos experimentales a los modelos teóricos y empíricos propuestos.

### REFERENCIAS

1. B.L. Estrada-Capetillo, M.D. Ortiz-Pérez, M. Salgado-Bustamante, E. Calderón-Aranda, C.J. Rodríguez-Pinala, E. Reynaga-Hernández, N.E. Corral-Fernández, R. González-Amaro, D.P. Portales-Pérez (2014). Arsenic and fluoride co-exposure affects the expression of apoptotic and inflammatory genes and proteins in mononuclear cells from children. *Mutation research*, 731, 27-34.
2. M.L. Gómez, M.T. Blathe, M.T. Sarin, D.E. Martinez. Arsenic and fluoride in a loess aquifer in the central area of Argentina. *Environ Geol*, 57 (2009), 143-155.,
3. I. Husthesain, M. Arif, J. Husthesain. Fluoride contamination in drinking water in rural habitations of Central Rajasthan, India. *Environ Monit Assess*, 84 (2012), 5151–5158.
4. Cano, A.I. and F. Aguilera, Arsenic in Groundwater: Natural Ocurrance Guanajuato, México: Its Impacts and Low Cost Remediation. *Natural Arsenic in Groundwater*, 2004.
5. Elías C.F., Escenarios de Riesgos por Contaminación debida a la Presencia de Arsénico en Aguas Subterráneas de Irapuato, Gto., in *Ingeniería Ambiental*. 2007, Universidad de Guanajuato: Irapuato.
6. WHO (World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality, World Health Organization, Geneva, 2006.
7. USEPA. 2004.
8. Banerjee, K., et al., Kinetic and thermodynamic aspects of adsorption of arsenic onto granular ferric hydroxide (GFH). *J. Water Research*, 2008. 42(13): p. 3371-3378

9. Sperlich, A., et al., Breakthrough behavior of granular ferric hydroxide (GFH) fixed-bed adsorption filters: modeling and experimental approaches. *J. Water Research*, 2005. 39(6): p. 1190-1198.
10. Sperlich, A., et al., Breakthrough Behavior of Granular Ferric Hydroxide (GFH) Fixed-Bed Adsorption Filters: Modeling and Experimental Approaches *Water Research*, 2005. 39: p. 1190-1198.
11. Song, S., et al., Arsenic removal from high-arsenic water by enhanced coagulation with ferric ions and coarse calcite. *Water Research*, 2006. 40: p. 364-372.
12. Zhang, Q.L., et al., A method for preparing ferric activated carbon composites adsorbents to remove arsenic from drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 2007. 148: p. 671-678.

## EFFECTO DE LABRANZA DE CONSERVACION EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD TOTAL DE UN SUELO FRANCO ARCILLOSO BAJO PRODUCCION DE FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS*)

**K. D. Ordoñez Morales<sup>1</sup>, M. Cadena Zapata<sup>2\*</sup>, A. Zermeño González<sup>2</sup>, S. G. Campos  
Magaña<sup>2</sup> F.J. Sánchez Perez<sup>3</sup>**

1. Estudiante del Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas de Producción, UAAAN,  
Calzada Antonio Narro 1923 Buenavista, CP 25315 Saltillo Coahuila, México

2 Profesor Investigador, División de Ingeniería, UAAAN, Calzada Antonio Narro 1923  
Buenavista, CP 25315 Saltillo Coahuila, México

3 Profesor Investigador, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas UAC Camporredondo CP  
25020 Saltillo, Coahuila Mexico

\* Autor para correspondencia: [martincadenaz@gmail.com](mailto:martincadenaz@gmail.com)

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de sistemas de labranza de conservación: Labranza Vertical (LV) y No Labranza (NL) comparándolos con Labranza Convencional (LC), en la Conductividad Hidráulica (CH), Densidad Aparente (DA) y Porosidad Total (PT) de un suelo franco arcilloso bajo producción de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un ambiente semiárido de México. De 2013 a 2016 se estableció un experimento en bloques al azar con tres repeticiones, cada tratamiento de labranza en parcelas de 40 m por 12 m. Al final de cada ciclo La CH se midió con un permeámetro tipo Guelph, la DA con el método de extractor de núcleos y la PT se calculó con DA y la densidad de partículas. Los resultados indican que en cada ciclo los valores de la CH presentan diferencias entre los tratamientos, pero se mantienen en una clasificación de moderadamente alta. Se observa que la CH varía en tiempo incrementando su valor promedio en 16% en el perfil del suelo (profundidad 0 a 25 cm) bajo NL, y disminuye en 35% para LC y 50 % para LV. Las variaciones promedio de la DA en el perfil

fueron un incremento de 7.97% para LC y disminución de 6% para NL y 3% para LV. En relación a la PT se observa un incremento de 3.11% en NL y de 0.47 % en LV y una disminución de 2.92% en LC. En el periodo de estudio, NL tiende a mejorar las propiedades del suelo evaluadas, LV las mantiene y hay deterioro bajo LC.

**Palabras clave:** labranza de conservación, propiedades físicas del suelo, ambiente semiárido

### ABSTRACT

Two systems of conservation tillage: Vertical Tillage (LV) and No Tillage (NL) were evaluated comparing its effect with Conventional Tillage (LC) on the Hydraulic Conductivity (CH), Bulk Density (DA) and Total Porosity (PT) of a Clay Loam Soil under bean production (*Phaseolus vulgaris*) in a semiarid environment of Mexico. From 2013 to 2016 the experiment was established with a random blocks arrangement with three replications, each tillage treatment was made in plots of 40m long by 12m width. At the end of each cycle CH was measured with a Guelph type permeameter, DA was measured with the undisturbed samples method and PT was calculated using the DA and the particle density of the soil. The results show that at each cycle values of CH have differences among treatments but still in a classification range of moderately high. It is observed that CH varies in time increasing its average value in 16% in the soil profile (depth 0 to 25 cm) under NL and decreases in 35% for LC and 50% for LV. The average variations of DA in the profile were an increase of 7.97% for LC and a decrease of 6% for NL and 3% for LV. In relation to PT, it is observed an increase of 3.11% for NL, 0.47% for LV and a decrement of 2.92% for LC. In the period studied, NL have a trend to improve the physical properties evaluated, LV practically maintain the values and there is a trend of deterioration with LC.

**Key words:** conservation tillage, physical properties of soil, semiarid environment

### INTRODUCCIÓN

La densidad aparente del suelo y la conductividad hidráulica controlan los procesos de flujo de agua en el suelo. En las zonas áridas y semiáridas la captación y almacenamiento de agua es determinante para la agricultura, la condición de la superficie del suelo dejada por la

labranza tiene un papel determinante en la infiltración y evaporación (Lampurlanés y Cantero Martínez, 2005)

El manejo de suelos por seis años con no labranza mejoro notablemente la calidad de un suelo molisol en términos de macro poros y tasa de infiltración comparado con la labranza convencional con arado de vertedera (Fan et al, 2013)

Una mayor conductividad hidráulica también se asocia a mayores niveles de respiración microbial, carbono orgánico del suelo, estabilidad de agregados y una fracción mayor de macroporos es decir a una mayor calidad del suelo (Yazdanpanaha et al, 2016)

El uso de No Labranza en ocasiones resulta en condiciones no satisfactorias; en regiones húmedas o bajo riego se han observado condiciones físicas adversas como incremento en la densidad y resistencia a la penetración que limitan la infiltración de agua en el suelo, el crecimiento de raíces y el rendimiento (Unger, 1996)

En otras circunstancias los resultados son positivos o los cambios no son significativos. En este aspecto, Mupangwa et al, (2013) indican que la densidad aparente decreció en tiempo en varios sistemas de labranza utilizados (convencional y de conservación y la infiltración total fue similar en todos los tratamientos durante los cuatro años del experimento

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la labranza de conservación en la densidad aparente, la porosidad y conductividad hidráulica de un suelo en condiciones ambientales semiáridas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó de 2013 a 2016 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. La localización geográfica es: 100°59'57" longitud oeste y 25°23'42" latitud norte, una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar, con un clima seco-árido, templado con un régimen de lluvias en verano y una precipitación media anual de 435 mm, y una temperatura media anual de 16.9°C.

Las características iniciales del sitio experimental son las siguientes: suelo xerosol de textura franco-arcillosa; densidad aparente de  $1.32 \text{ g cm}^{-3}$  velocidad de infiltración de  $4.0 \text{ cm h}^{-1}$ , con una retención de humedad de  $230 \text{ mm m}^{-1}$  a capacidad de campo; contenido de materia orgánica de 2.5%, y una resistencia a la penetración de 3 768 kPa.

El experimento se estableció bajo un arreglo estadístico completamente al azar con tres sistemas de labranza: Labranza Convencional (LC) arado de discos a 30 centímetros de profundidad y rastra de discos, Labranza Vertical (LV) cinceles a 30 centímetros de profundidad y rastra de discos y No Labranza (NL), la superficie total de cada unidad experimental fue de 480 m<sup>2</sup>. Se realizaron tres repeticiones de cada labranza, dando un total de nueve bloques. Se estableció como cultivo frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Variables medidas:

Conductividad hidráulica. Se midió al final de cada ciclo de cultivo en cada unidad experimental utilizando un permeámetro de Guelph. La conductividad se midió en  $\text{cm h}^{-1}$

Densidad aparente. Se tomaron muestras no disturbadas de suelo en cilindros de  $100 \text{ cm}^3$  al final del ciclo del cultivo en cuatro estratos del perfil del suelo a 5, 10, 15 y 20 cm en cada unidad experimental con tres repeticiones, obteniéndose 48 muestras por tratamiento. Las muestras se pesaron en húmedo y luego se secaron en estufa a una temperatura de  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 h; se determinó el peso en seco, el cual se empleó para obtener la densidad aparente dividiendo el peso del suelo seco entre el volumen del cilindro.

Porosidad. La porosidad se calculó considerando la densidad aparente y la densidad de partículas del suelo de la siguiente manera:

$$P = 1 - \frac{D_a}{D_p} * 100 \quad \text{donde:}$$

P= porcentaje de porosidad

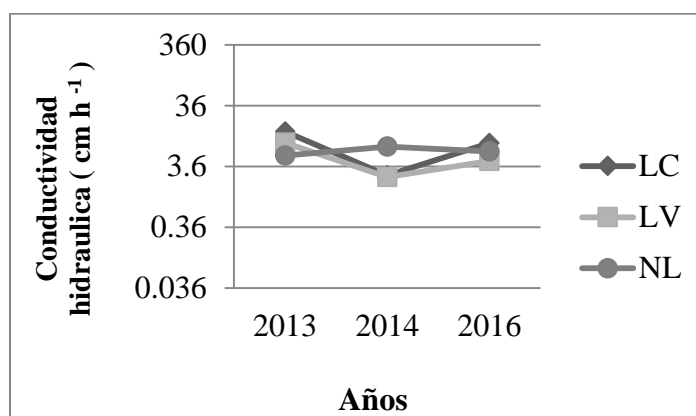
Da= Densidad aparente

Dp= Densidad de partículas



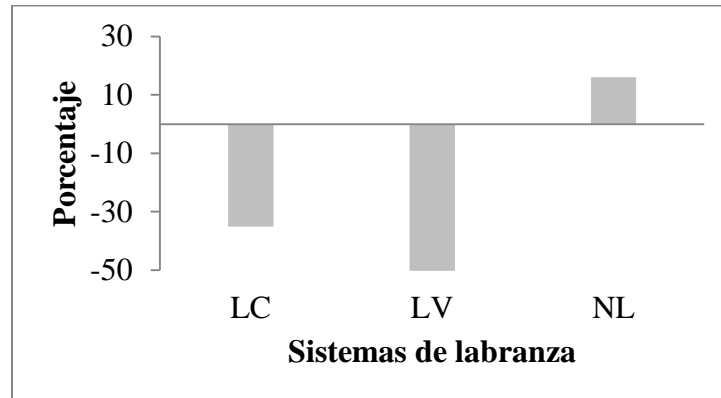
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conductividad hidráulica. Se observa en la Figura 1 que los valores de conductividad hidráulica del suelo bajo LV y LC varían en tiempo con una tendencia a disminuir, mientras para el tratamiento NL se puede ver una mayor estabilidad con tendencia a incremento en los valores de la misma en el periodo de estudio. Las clasificaciones de los valores de conductividad hidráulica inicial están dentro del rango de 3.6 a 36 cm h<sup>-1</sup> clasificada como moderadamente alta de acuerdo a USDA, SSDS (1983).



**Figura 1. Cambios en la Conductividad Hidráulica del suelo bajo tres sistemas de labranza en producción de frijol.**

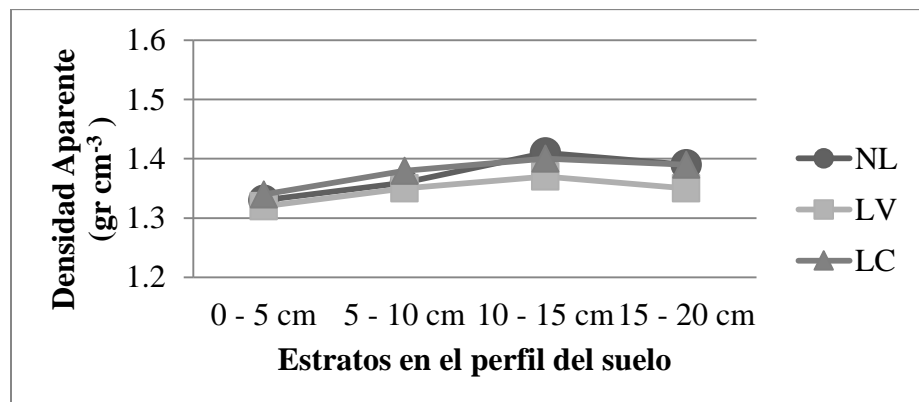
De acuerdo a la figura 2, los decrementos de la conductividad al final del periodo de estudio fueron de 50% para LV y de 35% para la LC comparados con los valores iniciales, mientras que para el sistema de no labranza el incremento fue de 16%.



**Figura 2. Porcentaje de incremento o disminución de la conductividad hidráulica después de cuatro años en el suelo bajo los distintos sistemas de labranza**

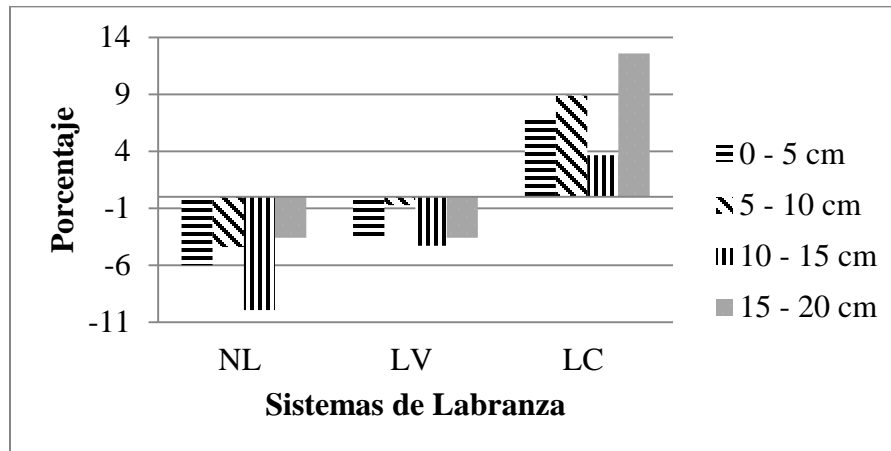
Existe una variación temporal de las propiedades hidráulicas del suelo las cuales responden tanto la labranza como a otros factores naturales como el clima, tipo de suelo. Lo encontrado en esta investigación concuerda con trabajos similares, la práctica de no labranza resultó en una mayor estabilidad de macroporos y mejoramiento de las propiedades hidráulicas en tiempo y espacio (Schwen et al 2011).

Densidad Aparente. Los valores de la densidad aparente al inicio del experimento fueron mayores en los estratos más profundos como se puede ver en la Figura 3. Los rangos de valores en el perfil corresponden a suelos típicos de textura franco arcillosa.



**Figura 3. Densidad Aparente en el perfil del suelo al inicio de los tratamientos de labranza**

Después de cuatro años de tratamiento, la densidad aparente tiene una disminución en todos los estratos del suelo para los tratamientos de labranza de conservación (NL y LV) mientras que aumenta para LC como se observa en la Figura 4.



**Figura 4. Cambios en porcentaje de la Densidad Aparente en cada estrato del perfil del suelo bajo los tres sistemas de labranza al final del periodo estudiado**

Los valores de densidad varían en espacio y tiempo; los resultados encontrados de que tiende a disminuir bajo no labranza también se ha observado en otros trabajos; en un suelo franco, Alletto y Coquet (2009), concluyeron que la interacción entre tiempo y sistema de labranza es una fuente importante de variabilidad en los valores de densidad aparente encontrando un mayor incremento de la densidad bajo un sistema de labranza convencional comparado con los sistemas de conservación.

La porosidad total del suelo se calculó a partir de los valores de densidad aparente en cada sistema y estrato del perfil del suelo. El valor de la porosidad depende entonces de la densidad, En el sistema NL aumenta en todos los estratos particularmente en el de 10 a 15 cm. En el de LV prácticamente los valores se mantienen y bajo LC tienden a disminuir. (Cuadro 1)

**Cuadro 1. Porcentaje de porosidad total al inicio del experimento (2013) y después de cuatro años (2016) de los tratamientos de labranza**

Año	Sistema de Labranza	Estratos en el perfil			
		0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	15 - 20 cm
2013	NL	49.81	48.68	46.79	47.55
	LV	50.19	49.06	48.30	49.06
	LC	49.43	47.92	47.17	47.55
2016	NL	52.83	50.94	52.08	49.43
	LV	51.32	48.30	49.43	49.43
	LC	46.79	44.53	46.42	42.64

### CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del estudio realizado, la densidad aparente del suelo disminuye en mayor proporción bajo el sistema de NL y en menor proporción bajo LV. En el caso de LC los valores de densidad se incrementan.

La disminución en la densidad del suelo se refleja en mayor porosidad para el sistema de NL, lo que resulta en aumento en la conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica en LV y LC varía de una temporada a otra, y en el periodo estudiado decrece en relación al valor inicial.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alleto, L. and Coquet, Y. 2009. Temporal and spatial variability of soil bulk density and near saturated hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems. *Geoderma* 152: 85-94

Fan Ruqin, Zhang Xiaoping, Yang Xueming, Liang Aizhen, Jia Shuxia, Chen Xuewen, 2013. Effects of tillage management on infiltration and preferential flow in a black soil, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 23(3): 312–320

Lampurlanés, J. and Cantero Martínez, C. (2006) Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil and Tillage Research* 85: 13-26

Mupangwa, W., Towomlow, S., Walker, S. 2013. Cumulative effects of reduced tillage and mulching on soil properties under semiarid conditions. *Journal of Arid Environments* 91:45-52

Schwen, A., Bodnerb, G., Schollb, P., Buchan, G.D., Loiskandla, W. 2011 Temporal dynamics of soil hydraulic properties and the water-conducting porosity under different tillage. *Soil and Tillage Research* 113: 89-98

Unger P.W. 1996. Soil bulk density, penetration resistance and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Soil and Tillage Research* 37: 67-75

United States Department of Agriculture. Soil Survey Division Staff (SSDS). 1993. *Soil Survey Manual*.

Yazdanpanaha, M. Mahmoodabadib, M., Cerdà, A. 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma*, 266: 58-65.

## EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA DE RIESGO AGROCLIMÁTICO COMO INSTRUMENTO DE TOMA DE DECISIONES EN EL ESTABLECIMIENTO DE PROYECTOS AGROPECUARIOS PRODUCTIVOS EN EL MARCO DE LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO CON ENFOQUE TERRITORIAL EN COLOMBIA

Valenzuela, Miguel<sup>1</sup>. Quintero, Diego<sup>2</sup>. Borda, Andrea.<sup>3</sup>. Díaz, Eliecer.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Profesor investigador I.A. M. Sc. Universidad Nacional de Colombia,  
[mavalenzuelam@unal.edu.co](mailto:mavalenzuelam@unal.edu.co). Teléfono 57-1 3165000. Colombia

<sup>2</sup> Ingeniero Agrícola. Estudiante de M.Sc Meteorología Universidad Nacional de  
Colombia. [diaquinteropu@unal.edu.co](mailto:diaquinteropu@unal.edu.co) . Teléfono 57-1 3165000. Colombia

<sup>3</sup> Profesional técnico Recursos Naturales y Cambio Climático. Instituto  
Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA, [andrea.borda@iica.int](mailto:andrea.borda@iica.int) .  
Teléfono 57-15190595. Colombia

<sup>4</sup> Profesor Investigador. Físico M. Sc. Universidad Nacional de Colombia  
[eddiaza@unal.edu.co](mailto:eddiaza@unal.edu.co) . Teléfono 57-1 3165000. Colombia

**Palabras Claves:** Riesgos Agroclimáticos, Planificación Agropecuaria

### RESUMEN

Con el fin de lograr el cumplimiento de los acuerdos negociados para alcanzar la paz en Colombia, cuyo eje central es la Reforma Rural Integral, se han desarrollado nuevos instrumentos que aseguren su implementación efectiva a nivel territorial; los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial PDET se convierten en un instrumento, donde la planeación participativa, busca asegurar el desarrollo de la economía campesina y de formas propias de producción. Para ello se pretende dar herramientas de planificación productiva a partir de una gestión de riesgos agropecuarios con el desarrollo de una caracterización de riesgo agroclimático. La metodología evaluada en el presente estudio es la propuesta por el IICA aplicada al sistema productivo del cultivo de cacao. Con esta metodología evaluada se puede determinar el grado de frecuencia e intensidad de las amenazas asociadas a eventos extremos hidro-meteorológicos, especialmente sequía hídrica, además de la exposición y vulnerabilidad del sistema productivo del cultivo bajo estudio. La zona de trabajo del presente estudio es el área rural de 11 municipios del departamento de Cauca, y 2 en el departamento del Valle del Cauca. La información utilizada fue climática, edáfica,

agronómica, así como de aptitud de uso del suelo, financiera, social entre otras, con el fin de caracterizar y cuantificar las amenazas, exposición y vulnerabilidad del sistema agrícola bajo estudio. Como resultados se obtuvieron índices para tal efecto y una herramienta que ayuda a la gestión del riesgo agroclimático, permitiendo tomar decisiones para el ordenamiento agrícola e implementación de proyectos productivos en el territorio.

## INTRODUCCIÓN

La planificación de las actividades agropecuarias se convierte en una herramienta clave para lograr programas y proyectos productivos sostenibles en el tiempo. La implementación de la gestión del riesgo para el sector agropecuario actualmente se está convirtiendo en una estrategia de soporte para la toma de decisiones, aunque sigue siendo necesario fortalecer el conocimiento de los riesgos, cómo se puede medir y los factores que afectan en menor o mayor grado el impacto que puede tener sobre la producción agropecuaria, la seguridad alimentaria y la calidad de vida de los agricultores.

Kámiche (2007) citado por (CEPAL 2013), define el riesgo como la probabilidad de que la unidad social o sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia del impacto de una amenaza frente a su condición de vulnerabilidad. A partir de lo anterior, se identifican que los factores claves para analizar los riesgos son las amenazas a las que está expuesta la producción agropecuaria y la vulnerabilidad del sector y de la población rural.

La amenaza es un “evento de origen natural, socionatural o antropogénico que por su magnitud y características puede causar daño”. La vulnerabilidad se expresa en el grado de exposición de las unidades sociales (cultivo, persona, familia, comunidad o sociedad) y de los activos fijos y actividades económicas. (CEPAL, 2013).

En el caso de las amenazas, para medir su influencia e impactos es necesario analizar el origen de la amenaza, la frecuencia o el número de veces que el evento ha ocurrido en un periodo determinado y la severidad o grado de impacto del evento. La vulnerabilidad del sector agropecuario se puede medir en función de la exposición, asociado a las condiciones

sociales y de pobreza en muchas regiones, la fragilidad que es el nivel de resistencia y protección de la unidad frente al impacto de los eventos y la resiliencia, que, de acuerdo a la CEPAL, se define como el nivel de asimilación o la capacidad de recuperación de una unidad social frente al impacto de eventos extremos e intensos capaces de generar daño.

De acuerdo con lo anterior, el análisis de riesgos agropecuarios consiste en la identificación, estudios, y evaluación de amenazas y vulnerabilidades de las actividades agropecuarias. Dicha evaluación se puede realizar de manera cualitativa o cuantitativa y permitirá categorizar el riesgo (puede ser bajo, medio, o alto dependiendo del tipo de riesgo), y así entregar recomendaciones y acciones estratégicas en temas como la planificación productiva del territorio.

De acuerdo con la Agencia para la Renovación del territorio (2017), Los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial PDET, diseñados a 10 años, son un mecanismo para que la Reforma Rural Integral, planteada en el punto 1 de los Acuerdos de Paz en Colombia, llegue de forma prioritaria a los territorios más afectados por el conflicto, con mayores índices de pobreza, presencia de economías ilícitas y debilidad institucional.

Dentro de los pilares de los PDET se encuentran el Ordenamiento social de la propiedad rural y uso del suelo, así como la Reactivación económica y producción agropecuaria, y uno de los cultivos priorizados es el del Cacao, por lo que para lograr que la implementación de estos programas tengan resultados satisfactorios, es importante analizar los riesgos agroclimáticos que pueden afectar la implementación de proyectos productivos en los municipios seleccionados, y que sirva como instrumento para la toma de decisiones y no se convierta en otro programa idealista sin fundamento técnico.

A partir de la experiencia en otros países de Latinoamérica, El Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura IICA desarrollo en el año 2016 una primera metodología de elaboración de mapas de riesgo para Colombia, enmarcado en la necesidad de aumentar el conocimiento y establecer metodologías que permitan anticipar, prepararse, reaccionar y recuperarse ante los diferentes riesgos ambientales que afectan las actividades agropecuarias.



Siguiendo dicha metodología se debe clasificar el riesgo en bajo o nulo, medio, alto y muy alto, a partir de la combinación de los índices de vulnerabilidad rural y productiva con la amenaza y el cultivo seleccionado, lo que permitirá, como lo mencionan sus autores, detectar áreas con alta probabilidad de ocurrencia de adversidades climáticas y a la vez con alta vulnerabilidad.

El presente estudio pretende analizar el riesgo por déficit hídrico al que se encuentra expuesto el cultivo de cacao en los municipios de la región del Norte del Cauca y sur del Valle del Cauca, que son establecidos como prioritarios el desarrollo de los PDET, y así poder dar recomendaciones para la toma de decisiones e implementación satisfactoria de los mismos.

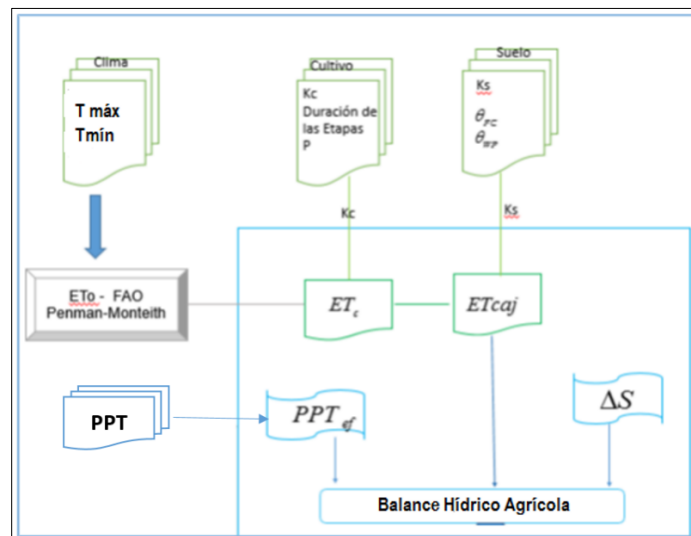
### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la selección de la zona de estudio se tomó el mapa elaborado por la agencia de renovación del territorio ART, de los municipios priorizados para la implementación de los PDET y se seleccionó el cultivo de cacao como uno de los cultivos priorizados dentro del plan Colombia Siembra. Posterior a esto se cruzó dicho mapa con el mapa de actitud del cultivo del cacao elaborado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria UPRA y además se cruzó con el mapa de estaciones con información meteorológica del IDEAM, lo que permitiera garantizar que se cuenta con un mínimo de cobertura de información climática para el análisis de la amenaza seleccionada. Esto permitió que se seleccionará el área rural de los municipios de Corinto, Toribio, Piendamó, Morales, Cajibío, Caldonó, Caloto, Santander de Quilichao, Suárez, Buenos Aires, y Miranda del departamento de Cauca, Pradera y Florida en el departamento del Valle del Cauca.

El evento seleccionado como amenaza para el análisis fue el del déficit hídrico, para este se utilizó el software Cropwat desarrollado por la FAO, en el que se realizó un balance hídrico en función de los elementos del clima y las propiedades hidrofísicas del suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) obtenidas con el software SPAW desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA que permite obtener las propiedades hidrofísicas del suelo a partir de la textura del mismo. Se determinaron dichas

propiedades hidrofísicas para cada una de las unidades cartográficas de suelos identificados con el mapa del IGAC escala 1:100.000.

El evento seleccionado como amenaza para el análisis fue el del déficit hídrico. El proceso para la elaboración de los balances hídricos agrícolas para el cultivo de cacao, fue realizado usando la metodología FAO del modelo FAO CROPWAT y siguiendo el esquema indicado en la Figura 1, donde  $T_{\text{máx}}$  y  $T_{\text{mín}}$  son las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales,  $K_c$  es el coeficiente del cultivo que permite convertir la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) en evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ),  $K_s$  es el coeficiente de estrés hídrico,  $PPT_{\text{ef}}$  es la precipitación efectiva,  $ET_{\text{caj}}$  es la evapotranspiración ajustada del cultivo y  $\Delta S$  es la variación de la reserva de agua en el suelo (Díaz E, 2014).



**Figura 1: Esquema del modelo de estimación del balance hídrico agrícola. Fuente: (Díaz, 2014)**

Para el módulo Clima, Inicialmente se consolidó la mayor cantidad de información confiable del conjunto de datos de las variables climáticas (Escala mensual) disponibles de las estaciones representativas de la zona de trabajo, la cual es perteneciente a la red nacional administrada por el IDEAM. Según metodología IICA, se consideraron dos escenarios

climáticos de referencia en el presente estudio. La primera el Período “normal” según series climáticas (Promedio 1981 a 2010) en escala mensual, la cual tiene como objeto describir las características sumarias del clima con los valores históricos promedios multianuales, de acuerdo con los procedimientos del Documento Técnico WMO-TD/N° 341 (OMM, 1989), y la segunda A partir de la serie climatología entre 1981 a 2010, se ordenaron los datos de menor a mayor, y se tomó el valor del percentil 85. Se estimó la precipitación efectiva a través de la metodología recomendada por la “United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service” (USDA/SCS).

El Módulo de cultivo se ajustó con información de FAO, documentos 33 (FAO, 1979) y 56 (FAO, 1996), estudios de la serie de Riego y Drenaje. Así mismo se consideró el cultivo de cacao, como un cultivo perenne, leñosos, de tipo arbustivo. El Módulo de Suelo se construyó con base en información edáfica reportada en el estudio de suelo para departamento a escala 1:100.000 realizado por el IGAC, donde se seleccionó el perfil modal de la unidad cartográfica representativa de la zona de interés (IGAC).

La vulnerabilidad productiva, se evaluó a través de análisis de exposición del territorio ante amenazas derivadas del clima (sequía, excesos hídricos), en función de la Evapotranspiración de referencia. Para el análisis de la vulnerabilidad rural se seleccionaron los aspectos prioritarios a tener en cuenta en los factores de exposición, de sensibilidad y de capacidad adaptativa y utilizando la fórmula para su cálculo

Vulnerabilidad = Exposición + sensibilidad – capacidad adaptativa

Una vez identificados los aspectos a tener en cuenta, y con la información tabulada a nivel municipal obtenida de la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2014, se le otorga a cada uno un valor cuantitativo representativo de la magnitud de los mismos en cada unidad evaluada, asignando valores de 0 favorable, 1 Intermedio, 2 desfavorable y 3 muy desfavorable. Finalmente, Los valores de vulnerabilidad (V) obtenidos en cada unidad de análisis se normalizaron y se mapearon en formato digital georreferenciado.

Por último el riesgo por déficit hídrico para el cultivo de cacao se calcula con el producto de la amenaza y la vulnerabilidad rural normalizadas y se clasifica en categorías de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

## RESULTADOS - DISCUSIÓN

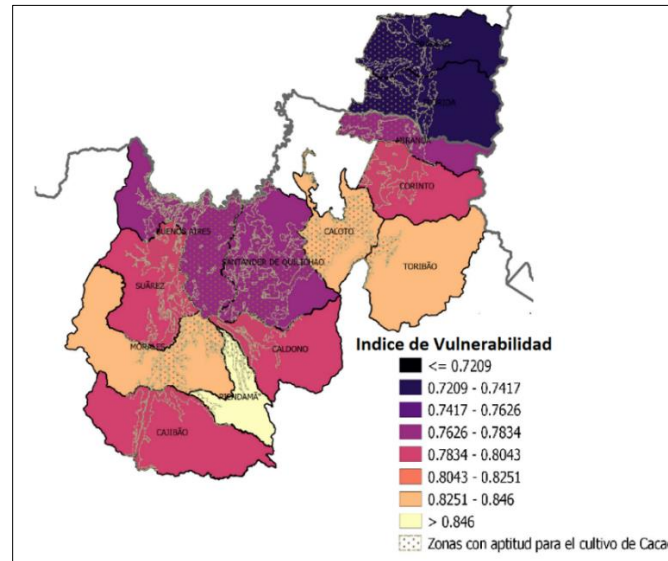
Para el caso del cálculo de la vulnerabilidad rural se analizaron y calificaron 11 variables las cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Aspectos calificados para analizar la vulnerabilidad rural en los municipios de la región del Cauca y Valle del Cauca

Sensibilidad	Exposición	Capacidad Adaptativa
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidades Productivas con actividades diversificadas</li> <li>- Utilización de riego</li> <li>- Aptitud del cultivo de Cacao de acuerdo con la UPRA</li> <li>- Número de productores residentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidades Productivas con dificultades para el acceso al agua para las actividades agropecuarias</li> <li>- Sistemas de Alertas tempranas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grado de alfabetización de la población</li> <li>- Unidades Productivas que recibieron Asistencia Técnica</li> <li>- Unidades Productivas con actividades de protección ambiental</li> <li>- Unidades Productivas con acceso al crédito</li> <li>- Unidades Productivas con maquinaria para actividad agrícola</li> </ul>

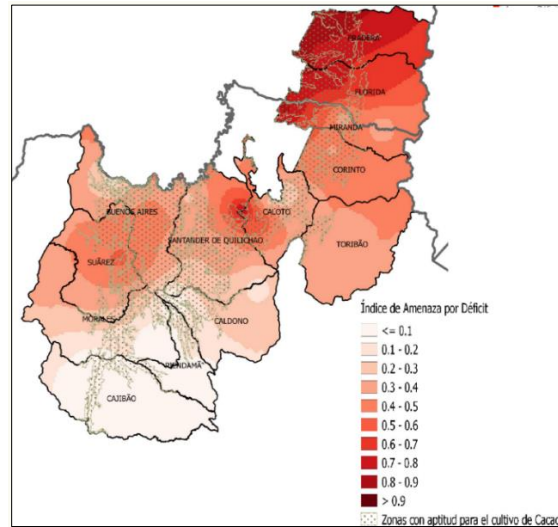
Con esto se construye el mapa de vulnerabilidad Rural que se presenta en la figura 2. El Índice de Vulnerabilidad oscila entre 0 – 1 siendo 1 la condición de alta vulnerabilidad. De

acuerdo con la figura 1 el índice para la zona de estudio se encuentra por encima de 0,72 lo que podría considerarse como una condición generalizada para toda la región de alta vulnerabilidad.



**Figura 2. Índice de Vulnerabilidad Rural a nivel municipal. Fuente: Elaboración propia**

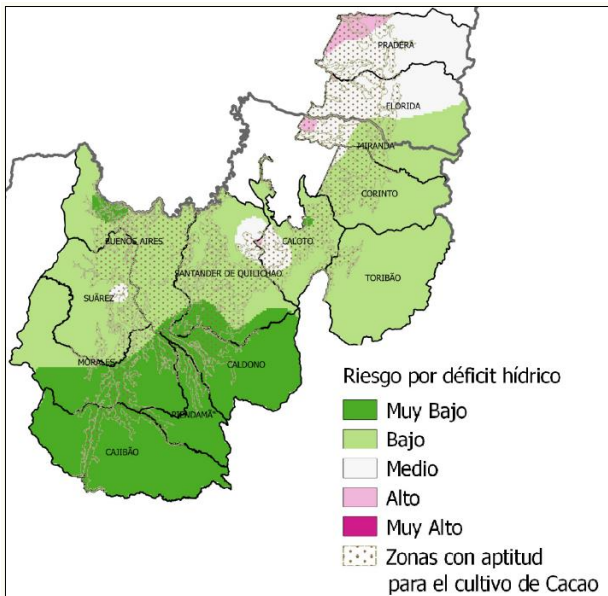
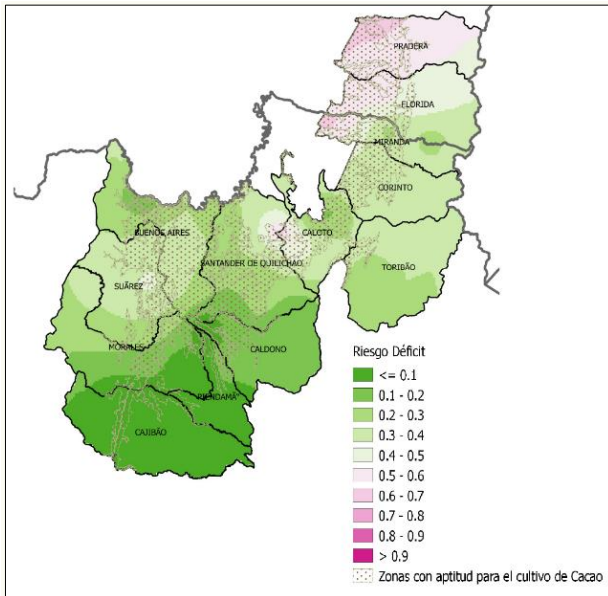
El índice Normalizado de Amenaza por Déficit hídrico para el mes de enero que se presenta en la figura 3 es el elaborado con una precipitación con probabilidad de ocurrencia del 85% y muestra que en general a medida que se avanza hacia el sur el déficit hídrico disminuye, teniendo en cuenta que esta es una zona con mayores precipitaciones. Los municipios de Pradera y Florida presentan un déficit alto, mientras que municipios como Suarez, Buenos Aires y Santander de Quilichao predomina un déficit medio.



**Figura 3. Índice Normalizado de Amenaza por Déficit hídrico para el mes de enero.**

**Fuente: Elaboración propia**

Finalmente, en la figura 4 se obtiene el mapa de riesgo de afectación por déficit hídrico para la zona de estudio, donde al categorizar se encuentra que los municipios de Pradera, La Florida y parte de Caloto y Santander de Quilichao se encuentran en un riesgo medio, mientras que los municipios de Miranda, Corinto, Toribio, Buenos Aires y Suarez predomina el riesgo bajo y los municipios de Piendamó, Cajibío y Caldono el riesgo es muy bajo



**Figura 4. Mapa de riesgo de afectación por déficit hídrico para el cultivo de cacao en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia**

Con el análisis de productividad con el Cropwat se obtuvo hasta una reducción del 17% en la producción en las zonas con mayor amenaza por déficit hídrico.

## CONCLUSIONES

La metodología de riesgo climático se logró validar de una manera satisfactoria, encontrando su utilidad para definir los municipios de la zona del Cauca y valle del Cauca en donde se puede llevar a cabo el establecimiento de los PDET con cultivos de cacao, con una alta probabilidad de que no van a tener riesgo por déficit hídrico. Alrededor del 90% del territorio se enmarca en la categoría de riesgo bajo y muy bajo. Sin embargo, se evidencia que la vulnerabilidad Rural de la zona es alta, por lo que deben emprender acciones como establecimiento de infraestructura para riego, asistencia técnica y accesibilidad al crédito, como pilares para que la región pueda mejorar en aspectos de calidad de vida, seguridad alimentaria y desarrollo rural.

Debe mejorarse la escala de la información tanto a nivel municipal, como de las propiedades hidrodinámicas de los suelos y mejorar la cobertura de las estaciones en la zona, lo que permitiría una mejor resolución de los resultados y apoyar de manera más precisa la toma de decisiones productivas en la región.

De igual manera es necesaria una calibración local del cultivo de cacao en sus diferentes etapas fisiológicas, ya que como lo indican autores como De Almeida y Valle, 2010 señalado por García 2014, Las condiciones vulnerables de la planta de cacao a fenómenos extremos de sequía se presentan en las etapas iniciales de establecimiento y afectan negativamente el crecimiento.

## REFERENCIAS

- CEPAL (2013) *Gestión integral de riesgos y seguros agropecuarios en Centroamérica y la República Dominicana: Situación actual y líneas de acción potenciales*. Mexico.
- Díaz E. (2014). *Diagrama de flujo del cálculo y determinación de la lámina de riego*. Bogotá: Informe Convenio CIAT/MADR.
- FAO. (1979). *Documento 33. Serie Riego y Drenaje. Efectos del agua sobre los rendimientos de los cultivos*. ROMA: FAO.



FAO. (1996). *Allen, R., Luis S., P., Raes, D., & Smith, M. Evapotranspiración del Cultivo. Documento FAO 56. Serie Riego y Drenaje.* Roma: FAO.

García L. (2014) *Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (Theobroma cacao L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico.* Facultad de Agronomía, Escuela de postgrados-Programa de doctorado. Universidad Nacional de Colombia . Bogotá.

IGAC. (s.f.). *Estudio general de suelos y zonificación de Tierras. Departamento del CAUCA.* Bogotá: IGAC.

IICA (2016) *Guía Metodológica Y De Indicadores Para La Elaboración De Mapas De Riesgo En Colombia.* Bogotá.

UNEA - FAO (2011). *Metodología Para El Desarrollo Cartográfico Para La Evaluación De La Vulnerabilidad Y Riesgo Agroclimático En Chile.* Proyecto Apoyo al Diseño e Implementación de un Modelo de Gestión del Riesgo Agroclimático UTF/CHI/028. Santiago.

## **ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD DE MODELOS DE SIMULACION, EN EVALUACIONES A CAMPO DE RIEGO GRAVITACIONAL TRADICIONAL Y PULSOS**

### **SENSITIVITY ANALYSIS OF COMPUTER SOFTWARE PACKAGES, IN TRADICIONAL AND SURGE FLOW FIELD EVALUATION**

**Catalina Romay <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Docente, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Av. San Martín 4453 - C1417DSE - Buenos Aires - Argentina - tel.: (+54) – 11 – 52870000 - tel móvil (+54) -11- 9 - 4172-5130 [romay@agro.uba.ar](mailto:romay@agro.uba.ar).

#### **RESUMEN**

El reto actual de la ingeniería de riego es conseguir la modernización y rehabilitación de los métodos por escurrimiento superficial de forma tal de conseguir una alta eficiencia y uniformidad, minimizando las pérdidas por escorrentía y percolación profunda, reduciendo la agresión al medio ambiente. Las evaluaciones del desempeño de los sistemas de riego a campo, juegan un papel fundamental para la optimización de los mismos. Comprenden aspectos técnicos, económicos, sociales, y ambientales. Desde el punto de vista técnico, requieren medir una cantidad de variables que lo hacen un proceso complejo. Se complica aún más para el caso del riego por pulsos ya que se debe de seleccionar ciclos de tiempo, y relación de ciclos. Los modelos de simulaciones son herramientas que permiten examinar situaciones que no pueden ser alcanzados con los procedimientos de diseño y evaluación disponibles. Son herramientas que permiten realizar análisis de sensibilidad partiendo de parámetros de manejo y diseño recomendados. El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados de los análisis de sensibilidad de las variables del sistema (caudal, tiempo de aplicación) de riego gravitacional tradicional y pulsos simulando evaluaciones de campo. Los modelos de simulación son SIRMOD III y WinSRFR 4.1. Los indicadores de desempeño mejoran en todos los casos al modificar el caudal. El tiempo de aplicación produce un salto más significativo en el resultado. La eficiencia de aplicación mejora en ambas técnicas de riego, quedando por debajo del 75 % para riego tradicional, superando dicho valor para riego por pulso. La eficiencia de almacenaje y distribución disminuyen a medida que corregimos

los parámetros de diseño tiempo y caudal. La corrección del caudal, no mejora las pérdidas por percolación profunda, pero al modificar los tiempos, si se reducen. El escurrimiento al pie mejora cuando se modifica el caudal y el tiempo, obteniéndose las mínimas pérdidas al combinar ambos parámetros.

**Palabras Clave: modelos de simulación, riego gravitacional, riego por pulsos.**

### ABSTRACT

The current challenge of irrigation engineering is to achieve modernization and rehabilitation of surface irrigation method to provide high efficiency and uniformity, minimizing tailwater runoff and deep percolation, reducing aggression to the environment. Evaluations the performance of field irrigation systems, play a fundamental role for their optimization. The evaluation include technical, economic, social, and environmental aspects. From the technical point of view, required to measure a number of variables that make it a complex process. It is further complicated in surge flow irrigation, since you must select cycles of time and time ratio. Simulation models are tools that

allow you to examine situations that cannot be achieved with available design and evaluation procedures. They are tools that allow to perform sensitivity analysis based on design and management parameters. The objective of the present study is to show the results of the sensitivity analyses of the variables (flow rate, cutoff time), in surface irrigation and surge flow irrigation simulating field evaluations. Simulation models are SIRMOD III and WinSRFR 4.1. Performance indicators improve in all cases when you modify the flow. The cutoff time produces more significant leap in the result. The application efficiency improves in both irrigation techniques, below 75% for traditional irrigation, exceeding this value for surge flow irrigation. Storage and distribution efficiency decrease to fix the design parameters time and flow. Changing flow, does not improve the losses by deep percolation, but changing times reduced them. The tailater runoff improves when modifies the flow and time, obtaining the minimal losses by combining both parameters.

## INTRODUCCION

La escasez de agua es un tema crucial en agricultura. En un mundo en donde la agricultura debe seguir compitiendo por la demandas de este recurso, que se está tornando cada vez más raro, es muy importante que los agricultores que usan agua la conserven. Se habla de dos métodos para combatir la escasez de agua: el riego de precisión y la mejora del manejo del riego gravitacional.

Se conoce la agricultura de precisión como aquella que acerca al manejo de la agricultura la tecnología de la información (TI), con el objeto de proveer la exacta información de cuánta agua y nutrientes debe suministrarle al cultivo manteniendo su óptimo crecimiento y productividad (Rouse, Wigmore, 2017). La agricultura de precisión cuenta con la recolección y el análisis de una gran cantidad de datos para determinar las condiciones del cultivo suelo y clima en tiempo real y manejar la propiedad eficientemente a nivel del metro cuadrado. El objetivo final es ayudar al agricultor, a evitar pérdidas de los recursos, y lograr óptimos rendimientos y sus respectivos beneficios. El riego de precisión puede ser considerado como el relevamiento y análisis de una gran cantidad de datos para regar con precisión las plantas individuales. El término de riego de precisión es muy usado para definir sistemas o técnicas, pero no existe una definición comúnmente aceptada. Debería tener en cuenta la planificación precisa del riego para definir la cantidad de agua necesaria por el cultivo y una adecuada aplicación del agua requerida (por ejemplo con una aplicación eficiente y uniformidad), (Wahlin, 2017).

Es sabido que el riego gravitacional por escurrimiento superficial del agua es la técnica más difundida en el mundo. Se admite su baja eficiencia, pero el rendimiento que se logra es elevado y puede compararse con las eficiencias de los sistemas presurizados. Para lograr esas elevadas

eficiencias, las técnicas de aplicación de agua superficial necesitan ser diseñadas y operadas correctamente. Para la mayoría de los desempeños del riego gravitacional, las bajas eficiencias no se deben al riego en sí, pero a las pobres decisiones en su operación. Un buen

sistema de riego gravitacional debe ser fácil en su operación, y que tenga bajos riesgos de error del regador, (Clemmens, 2005).

Sabiendo que los recursos de agua dulce son limitados y que el cambio climático puede provocar grandes alteraciones en la disponibilidad y la distribución espacio- temporal de las aguas de lluvia - principal fuente de agua dulce sobre la tierra - la preocupación actual científica del uso del recurso hídrico disponible, y la reducción de su uso abusivo, están más que justificados. La agricultura es el principal consumidor de los recursos hídricos dulces y es necesario sostener una agricultura que permita alimentar una población creciente en el mundo. Por ello el reto actual de la ingeniería de riego es conseguir la modernización y rehabilitación de los métodos por escurrimiento superficial de forma tal de conseguir una alta eficiencia y uniformidad, minimizando las pérdidas por escorrentía y percolación profunda, reduciendo la agresión al medio ambiente.

Los parámetros físicos que determinan el resultado de un evento de riego pueden agruparse en: (1) *parámetros de sistema*, son parámetros físicos propios del sistema y que poco o nada de margen de cambio tienen, (lámina de riego a aplicar, velocidad máxima no erosiva, pendiente del terreno, coeficiente de rugosidad, ecuación de infiltración, geometría del surco) y (2) *variables de sistema*, que son los parámetros físicos cuya magnitud puede cambiar en un amplio rango en función de la decisión del usuario, (caudal de manejo y/o caudal unitario, tiempo de aplicación o corte, y en menor medida la longitud de la unidad del riego) (Zerihum, et al 1999). Las evaluaciones de las técnicas del riego gravitacional comprenden aspectos técnicos, económicos, sociales, y ambientales. Desde el punto de vista técnico, deben caracterizar los parámetros físicos ya que influyen en el proceso hidráulico del riego, y tienen por objeto determinar las eficiencias, analizar las posibilidades de una mejora de las mismas y -además- comparar distintos métodos de riego y procedimientos de operación, para fundamentar la toma de decisiones económicas. Pero la gran cantidad de variables e interacciones que involucran al riego por superficie lo hacen un proceso complejo e inmanejable a nivel de evaluaciones a campo por el tiempo y costo que demandan. En el caso del riego gravitacional por pulsos se complica aún más por las variaciones espaciales y

temporales del proceso de avance y consiguientemente en la infiltración con los tres regímenes que caracteriza a esta técnica - movimiento del agua a través de las interfaces seca, húmeda y de transición - así como de definir más variables, como los ciclos de los tiempos y las relaciones de los ciclos.

Los modelos de simulaciones son herramientas que permiten examinar situaciones que no pueden ser alcanzados con los procedimientos de diseño y evaluación disponibles. Son herramientas que permiten realizar análisis de sensibilidad partiendo de parámetros de manejo y diseño recomendados. “Si se puede mostrar que un modelo matemático correctamente simula un amplio rango de datos de campo, se puede asumir que se podrá simular cualquier combinación de datos comprendidos dentro de estos límites. Modelar es relativamente poco costoso y tiene la ventaja que se pueden verificar numerosas situaciones e investigar cambios en las condiciones de ambos, la operación y diseño” (Walker, 1982).

Durante las últimas décadas varios investigadores han desarrollado modelos matemáticos que han permitido sistemáticamente mejorar el diseño y la operación de los métodos de riego por escurrimiento superficial. Modelo de balance de volúmenes (Hall 1956; Davis 1961), modelo de onda cinemático (Chen 1970; Smith 1971; Walter y Humpherys 1983), modelo de inercia cero (Strelkoff y Katapodes 1977; Elliott y col. 1982), y modelo completo hidrodinámico (Basset 1972; Kincaid y col 1972; Katapodes y Strelkoff 1977; Souza 1981), (citados por Walker 2003). El primer esfuerzo exitoso, que consistió en modificar uno de los modelos hidráulicos para la simulación del avance del frente de agua para riego por pulsos, fue evaluado por Walker y Lee (1982). Podmore y Duke (1982), Walker y Humpherys, (1983), Blair y col. (1987), profundizaron los estudios de modelos tanto para caudal discontinuo como para riego tradicional usando datos relevados de campo de varios ensayos. Elliott, Walker, Skogerboe (1982) Oweis (1983), Wallender y Raye (1985), Purkey y Wallender (1988), Essafi (1983), Haie (1984), Walker y Skogerboe (1987) usaron la ecuación modificada de Kostiacov para describir las características de la infiltración. Los resultados mostraban que el modelo podía predecir el avance bajo esas condiciones de

infiltración. Estos modelos presentan un significativo potencial para facilitar y simplificar el análisis del riego por pulsos y permiten predecir la infiltración bajo diferentes tiempos y razones de ciclos. Camacho y Roldán (1993), Cahoon y Eisenhauer (1994) modificaron los modelos propuestos incluyendo

otros factores que afectan a la infiltración del agua en surcos, como la geometría y el perímetro mojado y -para el caso de riego por pulsos- el tiempo y la razón de los ciclos.

En 1993 La Universidad de Utah publicó el programa **SIRMOD II** (Walker y col 1993) y muy recientemente la última versión **SIRMOD III** Walker (2003), Bautista y col. (2006, 2009), presentan **WinSRFR 4.1** que permiten las evaluaciones, simulaciones, operaciones y diseños de riego por escurrimiento superficial por surcos o melgas, con y sin pendientes, con o sin reducción de caudal, y la modalidad de riego por pulsos con varias opciones de tiempos de pulsos y relación de ciclos. Valipour y Montazar (2012), (citado por Bautista 2012) evaluaron WinSRFR para optimizar los parámetros de infiltración en surcos y a partir de análisis de sensibilidad incrementar la eficiencia de riego.

El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados de los análisis de sensibilidad de las variables del sistema (caudal, tiempo de aplicación) de riego gravitacional tradicional y pulsos simulando evaluaciones de campo. Los modelos de simulación son SIRMOD III y WinSRFR 4.1.

## MATERIAL Y METODO

Los modelos de simulación son representaciones simplificadas del sistema físico real expresado mediante ecuaciones matemáticas. Requieren de información precisa de muchas variables, que interactúan y determinan respuestas tales como láminas de agua aplicada, infiltrada, almacenada, escurrida y percolada, calculando por último las eficiencias de riego. El modelo SIRMOD III de Wynn Walker, (Departamento de Ingeniería en Riego y Biología Universidad del Estado de UTA, 2003) (Figura 1) y el modelo WinSRFR 4.1 (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Centro de Investigación de Agricultura de Tierras

Áridas), (figura 2) son programas de simulación del riego gravitacional. Desde que se comenzó a abordar el diseño del riego por superficie con criterio racional, se han aplicado los mismos conceptos que la hidráulica de canales abiertos y se sustentan sobre la base de la teoría del flujo no permanente y no uniforme, y esto se expresa a través de las ecuaciones de Saint – Venant.

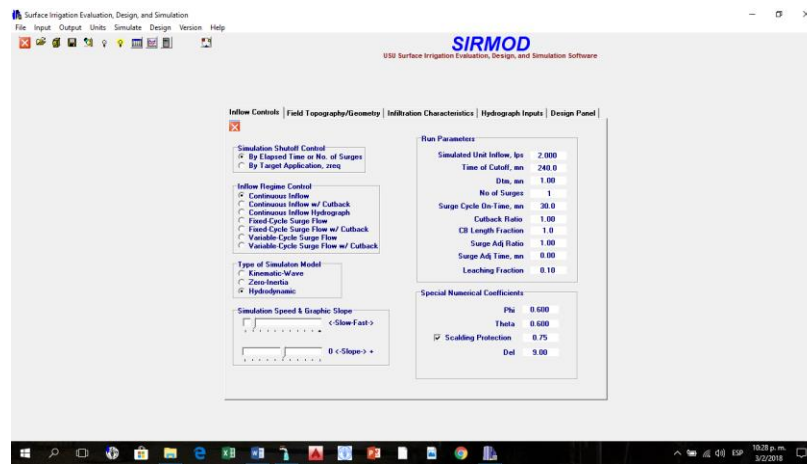


Figura 1: Programa SIRM0D III

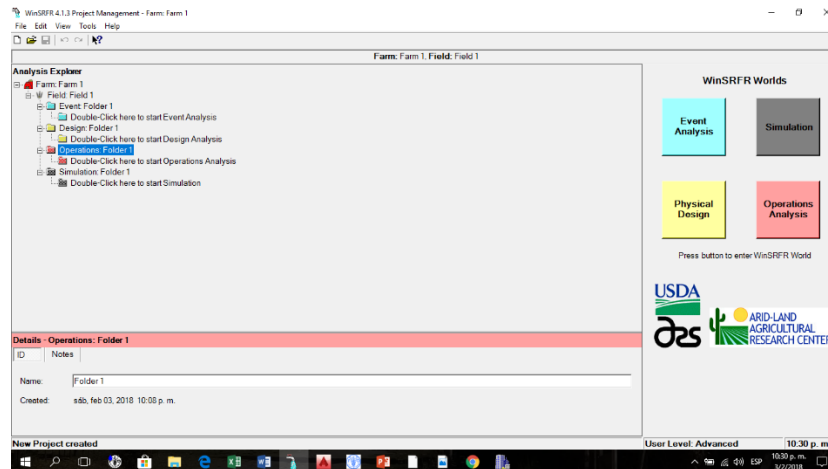


Figura 2: Programa WinSRFR



Las ecuaciones de Saint - Venant, desarrolla los conceptos de conservación de masa y conservación de momentos (ecuación 1 y 2):

Conservación de masa:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial \tau} = 0 \quad (1)$$

Conservación de Momento

$$\frac{1}{Ag} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A^2 g} \frac{\partial Q}{\partial x} + \left(1 - \frac{Q^2 T}{A^3 g}\right) \frac{\partial y}{\partial x} - (S_o - S_f) = 0 \quad (2)$$

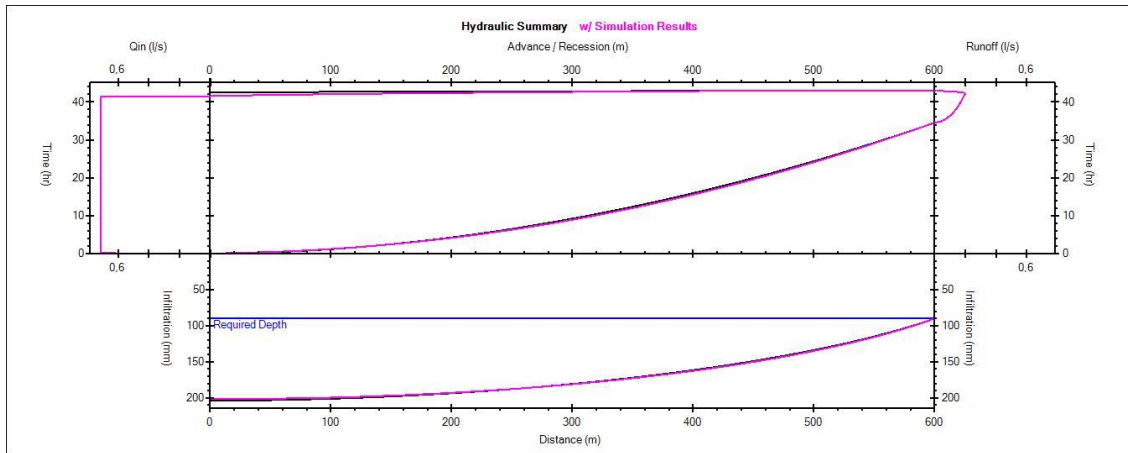
en donde A es el área de sección transversal del surco (m<sup>2</sup>), Q es el caudal (m<sup>3</sup>/s), t el lapso de tiempo (s), x la distancia desde la cabecera del surco (m), ζ el tiempo de oportunidad (s), Z la infiltración acumulada (m<sup>3</sup>/mín.m), g la aceleración de la gravedad, y la lámina de agua (m), T el ancho superior del frente de agua (m), S<sub>o</sub> la pendiente del terreno (m/m) y S<sub>f</sub> la pendiente de fricción (m/m).

Las soluciones matemáticas desarrolladas pueden clasificarse en, hidrodinámico, inercia cero, onda cinemática y modelo de balance de volúmenes. Es importante analizar cuando hay que aplicar cada una de estas soluciones en el análisis del riego por superficie. De una manera sencilla los modelos “Hidrodinámico” e “Inercia Cero” se aplican a todos los casos de riego por superficie -surcos con y sin pendiente, melgas con y sin pendientes, riego por pulsos- mientras que el modelo de “Onda Cinemática” está limitado a surco o melga donde se cumple que la pendiente de la superficie del terreno sea mayor a 0,0001 m/m y que el agua escurra libremente al final de la unidad de riego.

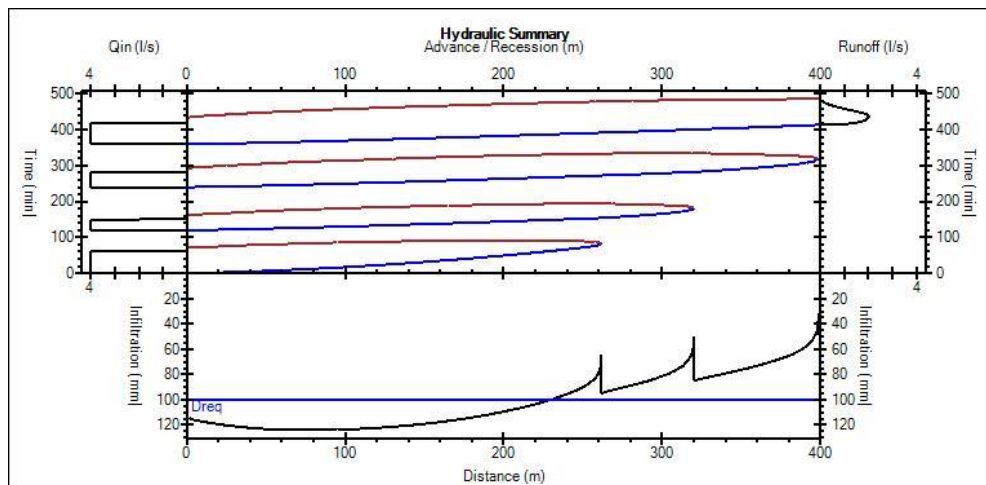
Sobre la base de evaluaciones a campo de riego gravitacional tradicional y pulsos, se validó cada una de ellas con ambos modelos para luego generar análisis de sensibilidad modificando las variables de sistema: el caudal unitario o el tiempo de aplicación o ambos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 3 y 4 muestran el gráfico de la salida del programa WinSRFR mostrando el resumen de la hidráulica del riego gravitacional tradicional y por pulsos de casos analizados.



**Figura 3: Hidráulica del riego gravitacional tradicional**

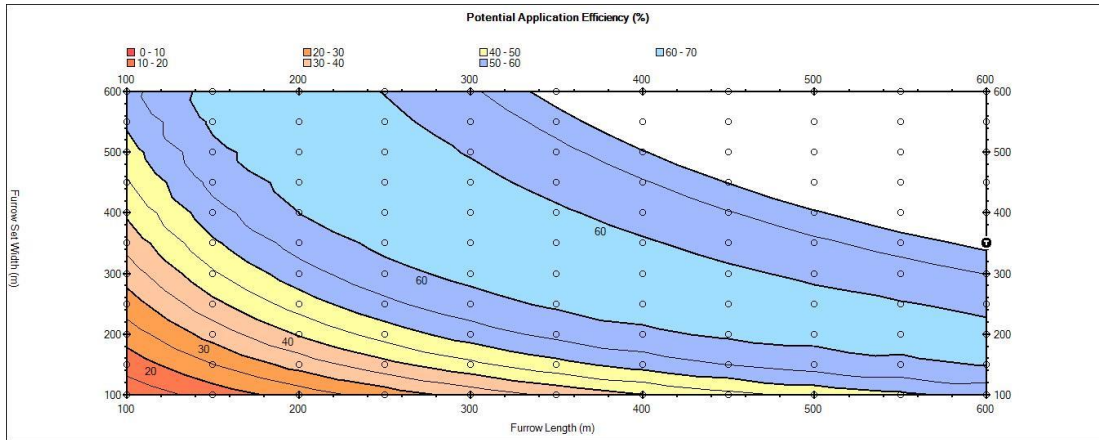


**Figura 4: Hidráulica del riego gravitacional pulsos**

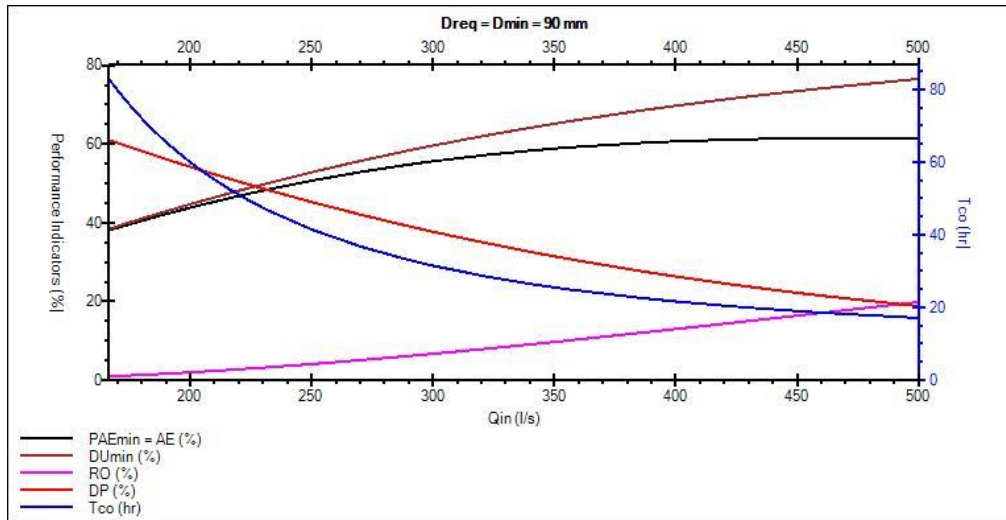
La figura 5 muestra un ejemplo del análisis de sensibilidad de las eficiencias de aplicación potenciales, analizando la variación de caudal. Y la figura 6 muestra para las combinaciones de tiempo de aplicación y caudal los parámetros de desempeño. De esta manera los modelos arrojan informes y gráficas para la interpretación de los resultados.

Los gráficos 1 y 2 muestran los resultados para riego tradicional y riego por pulsos, de la variación de la lámina infiltrada resultado del análisis de sensibilidad comparadas con la requerida de evaluaciones a campo. Los puntos de la primera columna (1) son los resultados de los datos de campo, la segunda (2) los resultados de la validación por simulación, observándose que correlaciona con los datos procesados de campo. Los puntos de la tercera,

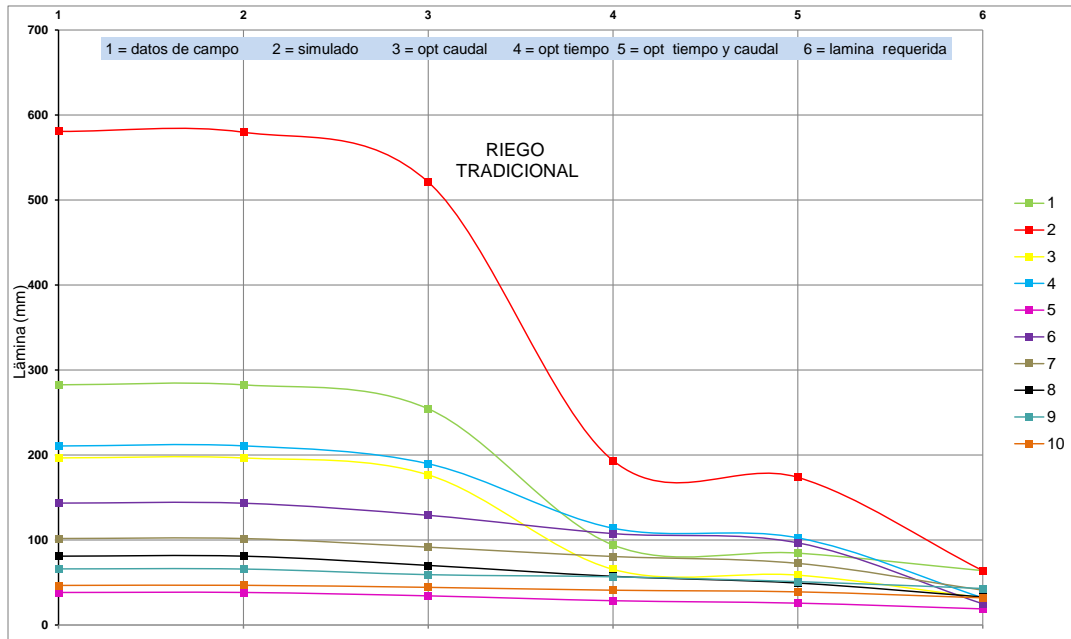
cuarta, y quinta muestran los resultados de optimizar el tiempo de aplicación (3), caudal (4), y la combinación de tiempo y caudal (5) respectivamente, y la última (6) la lámina requerida.



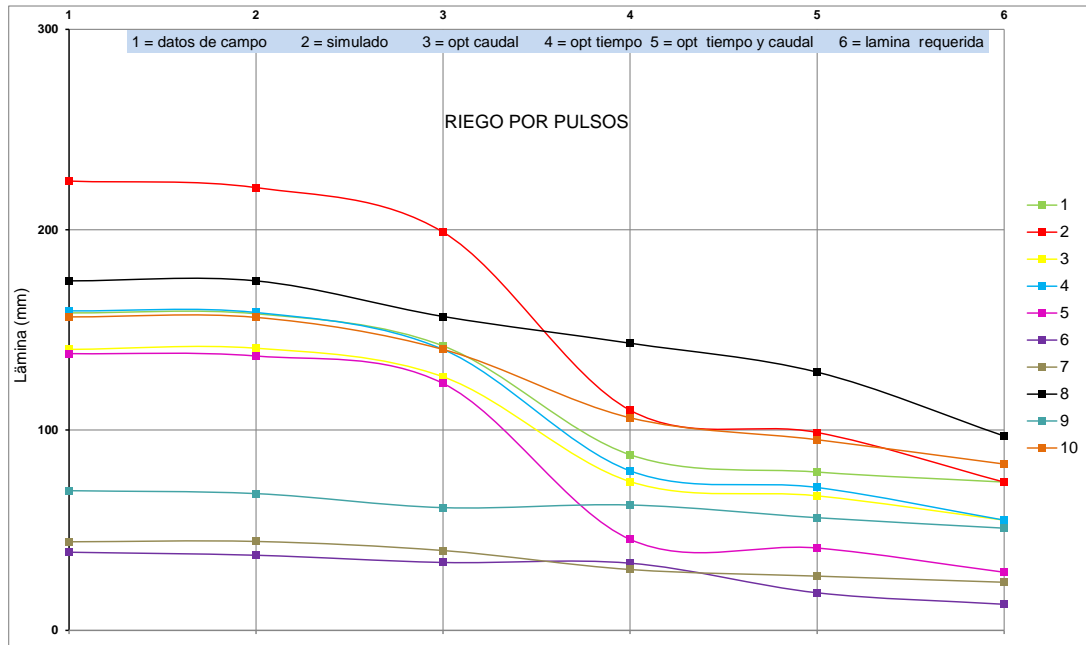
**Figura 5:** Gráfico de análisis de sensibilidad eficiencia de aplicación vs caudal



**Figura 6:** Resultados de los indicadores de desempeño



**Gráfico 1:** resultados de lámina infiltrada análisis de sensibilidad riego gravitacional



**Gráfico 2:** Resultados de lámina infiltrada análisis de sensibilidad riego por pulsos

A partir de estos resultados se determinan los indicadores de desempeño. Se observa que la eficiencia de aplicación mejora en todos los casos al modificar el caudal, el tiempo de aplicación produce un salto más significativo en el resultado, y cuando se combina la corrección de ambos parámetros (tiempo y caudal), se observa que para riego tradicional las eficiencias de aplicación mejoran, pero están por debajo del 75 %, y para riego por pulso supera dicho valor en casi todos los casos. La eficiencia de almacenaje y distribución disminuyen a medida que corregimos los parámetros de diseño tiempo y caudal. Este resultado se justifica ya que al mejorar la aplicación del agua, la lámina almacenada y la distribución se acercan a la lámina requerida por el cultivo, pero no se completa en la totalidad del perfil de las raíces. Mejorar la aplicación del agua implica que haya modificaciones en el nivel de almacenamiento. La disminución en la eficiencia de distribución, es más pronunciada al modificar el tiempo de aplicación que el caudal. Y se refleja aún más en el sistema de riego por pulsos respecto al riego tradicional. La corrección del caudal, no mejora las pérdidas por percolación profunda. Pero al modificar los tiempos de aplicación, al igual que cuando se combina tiempo y caudal si se reducen. En el riego tradicional los resultados siguen de cerca la evaluación a campo mientras que para el riego

por pulsos los valores se alejan, reduciendo significativamente las pérdidas por percolación profunda. El escurrimiento al pie mejora cuando se modifica el caudal y el tiempo, obteniéndose las mínimas pérdidas al combinar ambos parámetros.

### CONCLUSIONES

Las evaluaciones del desempeño de los sistemas de riego a campo, juegan un papel fundamental para la optimización de los mismos, brindando valiosa información a los agricultores y/o ingenieros proyectistas, para mejorar el diseño y prácticas de manejo, como así también brindan información básica para la administración del recurso hídrico, en la gestión integrada. Los modelos y sus aplicaciones han permitido sistemáticamente mejorar la operación y el diseño de los métodos de riego en tiempo real (Losada Villasante y Roldan Cañas, 2009). Los modelos SIRMOD III y WinSRFR 4.1 son los más precisos, aceptados y difundidos en el ámbito internacional.

### BIBLIOGRAFIA

- Adamala S., Raghuwanshi N., Mishra A., (2014) Development of Surface Irrigation Systems Design and Evaluation Software (SIDES) Computer and Electronic in Agriculture. Vol. 100 p. 100-109. ISSN: 01681699.
- Bair A., Smerdon E., (1987) Modeling Surge Irrigation Infiltration, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE Vol. 113 (4) p. 497-515.
- Bautista E., Clemmens A., Strelkoff T., (2009) Structured Application of the Two-Point Method for Estimation of Infiltration Parameters in Surface Irrigation, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 135 (1).
- Bautista E., Clemmens A., Strelkoff T., Schlegel J., (2009) Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U.S. Arid Land Agricultural Water Management, 96 (7), p. 1146-1154. ISSN: 03783774
- Blair A., Samani Z., (1989) Green-Ampt-Model to Predict Surge Irrigation Phenomena, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE Vol. 115 (4) p. 760-756.

- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, K. A., Eisenhauer, D. E. (1997). Irrigation performance measures -- efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, 123(6), 423-442.
- Cahoon J., Eisenhauer E., (1994) Inferences of Cycle Ratio-Time Surged Flow Infiltration Function. *Irrigation Science* Vol. 15 p. 173-182
- Camacho E., Roldán J., Alcalde M., (1993) Infiltration Under Surge Furrow Irrigation. *Acta Horticulturae* 335, Irrigation and Horticultural Crops.
- Clemmens, A. J. (2005). Raising the performance of surface irrigation. 19th International Congress on Irrigation and Drainage (pp. Q 52, P. 1.06). Beijing, China: ICID, (International Commission of Irrigation a Drainage).
- Elliott R., Walker W., Skogerboe G. (1982) Furrow Irrigation Infiltration Parameters from Advance Rate and Zero Inertia: Theory. *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE*, Summer Meeting Madison, Wisconsin, Paper N° 82 – 2103, 25 p.
- Elliott R., Walker W., Skogerboe G. (1982) Zero Inertia Modeling of Furrow Irrigation Advance, *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE*, Vol. 108 (3) p. 179-195.
- Food and Agricultura Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and Drainage Paper N° 45. (1989). Walker W.R Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems Utah State University. *Department of Agricultural and Irrigation Engineering*.
- Losada Villasante, A. y Roldan Cañas, (2009) El Riego: Fundamentos de su hidrología y de su práctica II, estudios y ensayos ISBN-13 9788484762324 (pp. 261).
- Rouse, M., & Wigmore, I. (2017). Precision agriculture. Retrieved from Whatis.com: <http://whatis.techtarget.com/definition/precision-agriculture-precision-farming>.
- Walhin, B. T., (2017) ICID, 23<sup>rd</sup> International Congress on Irrigation an Drainage Transaction Questions 60 and 61, (pp. 418) ISBN: 978-81-8961710-24-1.
- Walker W. R., (2003) Simulación, Diseño, y Evaluación de riego por superficie Guía del curso y documentación técnica Utah State University Foundation Logan, UT.
- Walker W. R. (2003) SIRMOD III, Surface Irrigation Simulation Software, Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University. Logan. Utah 84322 – 4104 USA.

- Walker W. R. Ised -1989- SIRMOD, Surface Irrigation Simulation Software. User Guide. Irrigation Software Engineering Div (ISED) Dep. AGRIC. IRRIG. ENGIN. Utah St. Univ, Logan.
- Walker W., Skogerboe G., -1987- Surface Irrigation, Theory and Practice. Utah State University. Prentice Hall, INC. New Jersey, USA.
- Walker W., Humphreys A., -1983- Kinematic Wave Furrow Irrigation Model, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASAE, Vol. 109 (IR4) p. 1-25.
- Walker W., Lee T., -1982- Kinematic Wave Approximation of Surged Furrow Advance, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASAE, Winter Meeting, paper nº 81 -2544 p. 1-25.
- Zerihum, D.; Wang, Z.; Rimal, S.; Feyen, J.; Mohan Reddy, J. (1999) Analysis of surge irrigation performance terms and indices. Agricultural Water Management 34 (1999) (25-46).
- Zerihum, D.; Ketema, T. (2006) On-farm performance evaluation of improved traditional small-scale irrigation practices: A case study from Dire Dawa area, Ethiopia. Irrigation and Drainage Systems 20:83:98.



## IMPACTS OF CLIMATE CHANGES ON THE SUSTAINABILITY OF IRRIGATED AREAS OF THE WATER-STRESSED BASIN, BRAZIL

**E. O. Vieira<sup>7</sup>, F. M. Rodrigues<sup>8</sup>, M. C. de Sá<sup>9</sup>, B. N. Rezende<sup>10</sup>, P. A. A. Amaral<sup>4</sup>**

Doctor, Associate Professor - Federal University of Minas Gerais, UFMG, Av. Universitária 1000, Montes Claros – Minas Gerais, Brazil. Phone +55(38) 2101-7708. E-mail: [eovieira@ica.ufmg.br](mailto:eovieira@ica.ufmg.br)

2 Doctor, Assistant Professor - Federal University of Minas Gerais, UFMG, Av. Universitária 1000, Montes Claros – Minas Gerais, Brazil. E-mail: [flamazzer@hotmail.com](mailto:flamazzer@hotmail.com)

3 Agricultural and Environmental Engineering – ICA/UFMG, Montes Claros – Minas Gerais, Brazil. E-mail: [monica-de.sa@hotmail.com](mailto:monica-de.sa@hotmail.com)

4 Undergraduate student of Agricultural and Environmental Engineering – ICA/UFMG, Montes Claros – Minas Gerais, Brazil. E-mail: [bbrunarezende@hotmail.com](mailto:bbrunarezende@hotmail.com)

**ABSTRACT:** The Rio Verde Grande Basin (RVGB) is a water-stressed basin located in a semi-arid region, showing long periods of drought, a factor that directly affects in water resources availability, and consequently the development of the main activity in the region that is irrigation. Considering that the climate it is a determinative factor to water availability, the evaluation of climate changes becomes highly necessary to be able to quantify the impacts that they cause on water resources sustainability. The objective of this study was through synthetic series made by climatic and hydrological modelling programs analyse the likely changes in the water availability in the RVGB, and the reflections of this in the sustainability of water resources for irrigated areas. In this study the climatic projections were made through the Global Climate Models from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, which are used in the fifth report of Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC). The climatic synthetic series were generated between the years of 2000 and 2050, considering the

---

CP6.0 scenario. So that would be possible the comparative analysis of generated scenarios of this study were used as criteria to calculate the sustainability index the equations of reliability, resilience, vulnerability and maximum deficit. Based on the calculated sustainability indexes, and comparing the current and future scenarios, it was observed that even with all actions of improvement of water supply foreseen in the Water Plan implemented of RVGB, there was a reduction in sustainability of irrigated areas in some sub-basins due to climate change.

Keywords: CMIP5; WEAP model; vulnerability

## INTRODUCTION

Climate change must have major impacts on water resources around the world. Thus, climate change is nowadays a worldwide concern. Created in 1988, the IPCC had as its aim to gathering and evaluates researches made in this field, what enable a bigger knowledge of climate changes impacts on water resources. According to IPCC (2007), some projections made indicate that the patterns of precipitation can be directly affected by the average of temperature in global surface that will increase by up till 5.8 degrees Celsius in the next hundred years. The reflection of these changes will be the occurrence of extreme events, such as, the increase in the probability of drought and flood occurring, compromising water availability. In some regions of Brazil, climate change can make access to water even more difficult. The lack of low rainfall combined with high temperatures and high evaporation rates, as well as increased water demand in irrigated areas, can lead to reduced food security and greater vulnerability of poor rural farmers, especially in the Brazilian semi-arid region (MARENGO, 2008a; PBMC, 2012). The RVGB is located in a semi-arid region. The distribution of rainfall in the basin throughout the year is characterized by the clear existence of drought and humid seasons. The climate change in the RVGB may be increasing the climatic variability, which has as consequence the compromising of water availability. Irrigation is the major water consumption activity of RVGB with more than 90% of water demand of entire basin; therefore, in order to have water availability for this activity it is extremely important to guarantee the sustainability of water recourses in the basin.

Considering that the previous knowledge of impacts caused by climate changes on water resources it is insufficient, it becomes necessary a study to deepen such knowledge, aiming in a better evaluation and qualification of these impacts, thus ensuring the sustainability on the use of water resources. The objective of this study was to analyse the likely changes in water availability in the Rio Verde Grande basin and the sustainability of the water resources for the irrigated areas.

## MATERIALS AND METHODS

### Basin characterization

The Rio Verde Grande is a major tributary to the east side of São Francisco River in Brazil. The RVGB has an area of 31,410 km<sup>2</sup> covering eight municipalities in Bahia (13% of the total area) and 27 municipalities in Minas Gerais (87% of the total area) (ANA 2016). The basin was subdivided into eight sub-basins to assist in the planning of the Water Resources Plan of the Rio Verde Grande basin (WRPVG). The sub-basins are as follows, Alto Verde Grande (AVG); Médio Verde Grande-Trecho Alto (MVG-TA); Médio Verde Grande-Trecho Baixo (MVG-TB); Alto Gorutuba (AG); Médio Baixo Gorutuba (MBG); Alto Verde Pequeno (AVP); Baixo Verde Pequeno (BVP) e Baixo Verde Grande (BVG). The Water Resources Plan of the Rio Verde Grande basin (WRPVG) proposes studies that anticipate the long periods of drought. In addition, the climate systems proposed by the WRPVG will analyse the effect of climate change on the hydrological regime (ANA, 2016).

### Climate Modelling

The IPCC is a scientific body whose purpose is to assess global climate change, in order for this to be possible, researches from all over the world come together to expose the advances related to climate change and, to reach a consensus on the trends of these changes (MARENGO; SOARES, 2003). The CMIP5 has more than 50 climate models working with climate change simulations both past and future (ZHAO; CHEN; MA, 2014). The MarkSim climate modelling program has 17 of the general circulation models used by CMIP5, but only four of these models were used in this work. The choice of the models used in this work was

based on the models available by MarkSim that have the smallest scales, since by using the downscaling technique to regionalize these models would guarantee more satisfactory results. In addition to choosing the models MarkSim also works with scenarios elaborated by the fifth IPCC report, which are called Representative Concentration Pathways (RCP). From these scenarios, climate projections analyse different conditions as a reflection of different radiative forcing, such as greenhouse gas concentrations, emission of aerosols and chemical gases, and land use and occupation. These analyses allow projections on climate change to also consider human actions, which makes the scenarios more realistic (TAYLOR; STOUFFER; MEEHL, 2012). For this work the RCP6.0 scenario was adopted, which represents a radiative forcing of  $6w.m^{-2}$ , and considers its stabilization after the year 2100. Assuming the chosen parameters (the models and the scenario) MarkSim was able to generate the future synthetic series, where each municipality produced monthly averages of precipitation, minimum temperature and maximum temperature, for each year studied until the year 2050.

### Hydrological Modelling

This study carried out its hydrological modelling in the RVGB using the WEAP (Water Evaluation and Planning) model. The calibration and verification of the model were based on historical data from basin meteorological stations. The WRPVG in elaborating the scenarios considered some changes in the basin by the year 2050, an increase in water demand as the economic development of the basin. The scenarios presented by the WRPVG are three, Trend, Normative 1 and Normative 2. Each scenario foreseen actions to improve the available water in RVGB. The Baseline has been considered in this work as a scenario without actions to improve the available water. The Normative 2 was the scenario with many actions such as the implantation of new dams, import water and delivered water, to increase water supply in  $10m^3/s$  in entire basin (ANA, 2016). In order to process the data in the WEAP model was used monthly data of the time interval of 2000 to 2050, considering historical data (2000 - 2014) and future synthetic series generated in MarkSim (2015-2050). The performance criteria and the sustainability index (SI) could be calculated, generating future scenarios that represent the changes in the behaviour of the basin and, consequently, in the

sustainability of the available water resources. SI of water resources allows the water manager to evaluate and compare different methods of management and water uses with regard to its sustainability. SI takes into account measures of Reliability, Vulnerability and Resilience. According to Sandoval-Solis, McKinney and Loucks (2011) the performance criteria are used to evaluate water management policies and allow comparison with alternative measures. These performance criteria are based on a water supplied deficit ( $D_t^i$ ) (Eq. 1), which is the difference between water demand ( $X_{Target,t}^i$ ) and water supplied ( $X_{Supplied,t}^i$ ) for each time period  $t$  for a determined  $i$ th water user, defined in this work as irrigated area, livestock, urban population and rural population:

$$D_t^i = \begin{cases} X_{Target,t}^i - X_{Supplied,t}^i, & \text{If } X_{Target,t}^i > X_{Supplied,t}^i \\ 0, & \text{If } X_{Target,t}^i = X_{Supplied,t}^i \end{cases} \quad (1)$$

The reliability can be described as (eq. 2),

$$Reliability = \frac{\text{No. of times } D_t^i = 0}{n} \quad (2)$$

The resilience is given by equation (3),

$$Resilience = \frac{\text{No. times } D_t^i = 0 \text{ follows } D_t^i > 0}{\text{No. times } D_t^i > 0 \text{ occurred}} \quad (3)$$

and vulnerability is calculated by equation 4,

$$Vulnerability = \frac{\left( \frac{\sum_{t=0}^{t=n} D_t^i}{\text{No. of times } D_t^i > 0 \text{ occurred}} \right)}{X_{Target}^i} \quad (4)$$

The maximum deficit is given by the equation, where  $D_{annual}^i$  the annual demand of water (eq.5),

$$Max. Deficit = \frac{\max(D_{annual}^i)}{Water\ demand^i} \quad (5)$$

The performance criteria above enable the SI to be determined by the following equation 6,

$$S.I. = [Reliability^i * Resilience^i * (1 - Vulnerability^i) * (1 - Max. Deficit)]^{1/4} \quad (6)$$

The calculation of the SI in the water resources of the RVGB allow a comparison of the behavior of the basin between the Baseline scenario and the Normativo 2 scenario, making it possible to analyze from the climatic changes projections and the changes occurred in the basin once that the interventions that improve water availability were considered implanted.

## RESULTS AND DISCUSSION

The Baseline and Normative 2 scenarios established by the *WRPVG* were compared by evaluating the changes in the SI of the basin's water resources considering climate changes (from 2015-2050). In order to better understand the results generated, it is necessary to observe the behaviour of the basin through the performance criteria, given that these criteria are calculated by comparing the eight sub-basins for irrigation activity. Reliability is described through time. The reliability based on time demonstrated by Figure 1, indicates the probability of the water available in the sub-basins meet the demand considering the simulated time interval. Irrigation presented a very variable reliability which can be explained by the different demands in the 8 sub-basins of the Rio Verde Grande basin. In AVP and BVP sub-basin have almost no improvements despite having been implemented little 2 dams for Normativo 2 scenario. In others sub-basins occurred the little raising of reliability of water supply to irrigation. *The vulnerability presented in Figure 1 describes the behavior of the sub-basins considering the maximum deficits in the system in a period of continuous failure and the probability of this deficit exceeds a previously established limit. Through this figure*

*it is possible to notice that irrigation is highly vulnerable in almost all of basin except AVG, MVG\_TA and MVG\_TB (below 40% in Normative 2).*

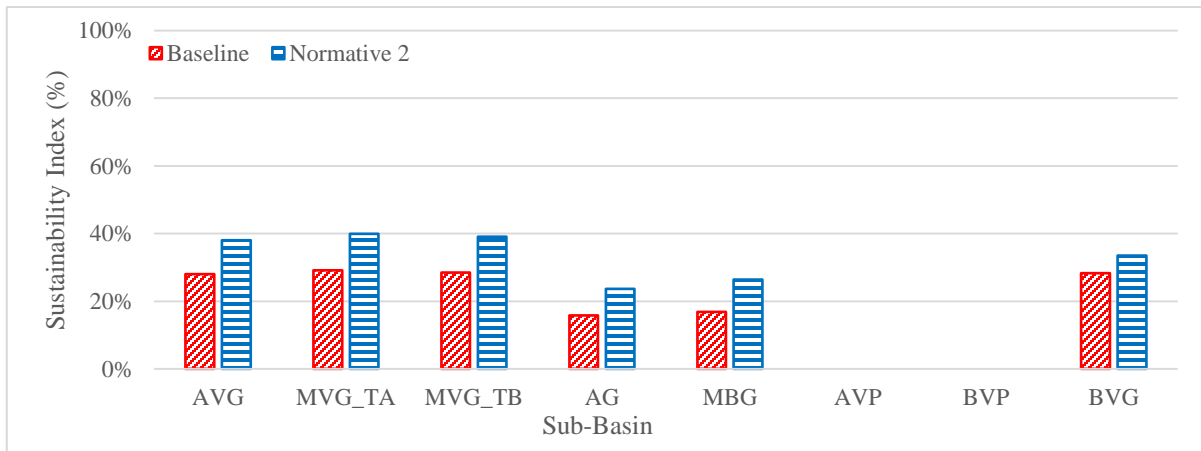


Graph 1- Performance Criteria (Reliability, Vulnerability, Maximum deficit and Resilience) of water resources of 8 sub-basin in the RVGB

This is a consequence of the high water demand for this activity in the others sub-basins. *In some sub-basins water consumption for irrigation exceeds 90% of total demand.* Therefore, only considering the surface water availability and climate changes effects, the irrigation presents itself as the highest risks activity in the entire basin. *The AG, AVP and BVP sub-basins showed considerable values of vulnerability when it comes to the activities that use water for irrigation.* The WRPVG foresees a growth of 1.95% per year for the irrigated areas

in basin (ANA, 2016), which in 2050 may lead RVGB to very high vulnerability. *Figure 1 shows the maximum deficits that describe the worst annual deficit reported considering that water availability did not meet the required demands. It can be noticed that in all the sub-basins the maximum deficit was high when related to irrigation which shows that during the simulated time the actions foreseen in WRPVG to Normative 2 scenario, once implemented, did not meet the growth of the water demands required by the water users activities considering the climate changes. The resilience demonstrated through Figure 1, represents the ability of the system to adapt to changes imposed on it, considering its recovery from a phase of failure. The AG, MBG and BVG sub-basins show a significant increase in resilience but remaining below 35%.*

The SI considers the performance of alternative policies in order to guarantee a lower vulnerability to the system (Figure 2).



Graph 2- Sustainability Index comparing Baseline x Normative 2

## CONCLUSION

The conclusions of this work were:

Irrigation as a water user of the RVGB presented the low indexes of the performance criteria, making the activity highly vulnerable in the scenario of climate change predicted in this work.



Even considering the interventions proposed by the WRPVG to increase water supply for irrigation, climate change directly influenced the available water behavior, remaining low SI for almost all of basin. For the sustainability index of water resources to be guaranteed in the basin, more efficient adaptive measures that consider these climate changes must be included in the interventions proposed by the WRPVG.

## REFERENCES

ANA - Agência Nacional de Águas. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/servicos/planejamento/planoderecursos/20150902\\_PRH\\_Verde\\_Grande.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/servicos/planejamento/planoderecursos/20150902_PRH_Verde_Grande.pdf) . Acesso em 25 abr. 2017

IPCC, 2007. Mudança do Clima 2007: Sumário para os Formuladores de Políticas Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Geneva: [s.n.].

MARENGO, J. A. (2008a) Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias Estratégicas*, v. 13, n. 27, p. 149–176,

MARENGO, J. A. Água E Mudanças Climáticas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008b.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Impacto das Mudanças Climáticas no Brasil e Possíveis Futuros Cenários Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC 2001. *Clima e Recursos Hídricos*, p. 209–233, 2003.

PBMC. (2012) Sumário Executivo do Volume 1 - Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1o Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasil, Volume Especial para a Rio+20, 34p..

SANDOVAL-SOLIS, S.; MCKINNEY, D. C.; LOUCKS, D. P. Sustainability Index for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 137, n. October, p. 381–390, 2011.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 4, p. 485–498, 2012.

ZHAO, T.; CHEN, L.; MA, Z. Simulation of historical and projected climate change in arid and semi-arid areas by CMIP5 models. *Chinese Science Bulletin*, v. 59, n. 4, p. 412–429, 2014.

## MODELO HIDRÁULICO PARA REDES DE CANALES CON ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS Félix Santiago Collazo<sup>1</sup>, MSCE, EIT

*Análisis de la descarga de flujo para riego en un cultivo de Cacao (Theobroma Cacao)  
en las condiciones de Yopal, Orinoquia, Colombia*

**Gustavo Castro García**

**Miguel Darío Sosa Rico**

*M.Sc. Ing. Civil. Profesor programa Utopía*

*M.Sc. Ciencias Agrarias. Profesor programa Utopía*

*Ingeniería agronómica. Universidad de La Salle*

*Ingeniería agronómica. Universidad de La Salle*

*Yopal. Colombia, gcastrog@unisalle.edu.co.*

*Yopal. Colombia, mdsosa@unisalle.edu.co.*

**Javier Salazar Peña**

*M.Sc. Ciencias Agrarias. Profesor programa Utopía. Ingeniería agronómica.*

*Universidad de La Salle*

*Yopal. Colombia, jasalazarp@unisalle.edu.co.*

### RESUMEN

El sitio del estudio se encuentra ubicado a 256 msnm, con coordenadas geográficas de 5°19'31''N y 72°17'48'' W, una temperatura media mensual de 32°C, valores de lluvia anuales entre 1800 – 2200 mm, humedad relativa entre 80 – 90% y evapotranspiración potencial (Eto) entre 6 – 8 mm/día. El periodo de monitoreo de los regímenes de humedad del suelo e hídrico se establecieron para el periodo Agosto 2016 y Agosto 2017. Se elaboró una curva elevación descarga (Q vs h) para la calibración del flujo en canal con las herramientas HEC-RAS. Para el monitoreo de los niveles del canal se instaló un sensor de presión marca HOBO Water Level (13 ft) Data Logger - U20L-04. Para el monitoreo de la

humedad del suelo se instaló una Micro-estación onset (H21-002) con tres sensores Soil Moisture Smart Sensor (S-SMx-M005) onset a tres profundidades en el perfil del suelo (30 cm, 60 cm y 90 cm). Se lograron caracterizar los caudales mínimos, máximos y la disponibilidad hídrica asociada la producción del cultivo. Este tipo de trabajos es un aporte para las recomendaciones para el calendario de riego, con el objetivo de formular las láminas de irrigación adecuadas y entender los balances hídricos en el sistema de producción estudiado.

## INTRODUCCIÓN

El cacao (*T. Cacao*) es una planta perenne tropical, nativa de los bosques húmedos de Suramérica (Motamayor et al., 2002). Tradicionalmente el cacao (*T. Cacao*) es explotado comercialmente para la producción de semillas, principalmente destinadas en la fabricación de chocolate, así como por su potencial en las industrias alimentarias, cosméticas y farmacéuticas. El cultivo de cacao (*T. Cacao*) presenta alta capacidad de adaptación en Colombia, esto debido a las condiciones naturales para su producción, dado que, las características agroecológicas en términos de clima y humedad, y su carácter de sistema agroforestal conservacionista del medio ambiente (MADR, 2005).

Las fuentes hídricas en Colombia enfrentan un incremento en estresores ambientales que ponen en riesgo la capacidad de satisfacer la demanda y calidad de agua necesaria de los diferentes servicios de los ecosistemas a nivel de cuenca (García et al., 2012). Asociado a esta problemática, está la capacidad limitada de los entes locales y estatales de monitorear y regular la disponibilidad y explotación del recurso hídrico, así como la limitada inclusión de las comunidades y sectores afectados en los procesos de manejo del agua (Magrin, 2015). Como ejemplo de esta problemática, la región del Casanare enfrenta potenciales conflictos derivados de la creciente demanda de agua del sector industrial y expansión urbana, y las necesidades del sector agrícola para la producción de alimentos. Adicionalmente a estos conflictos, se suma la expectativa de aumento en la variabilidad climática bajo escenarios futuros (Ramírez-Villegas et al., 2012).

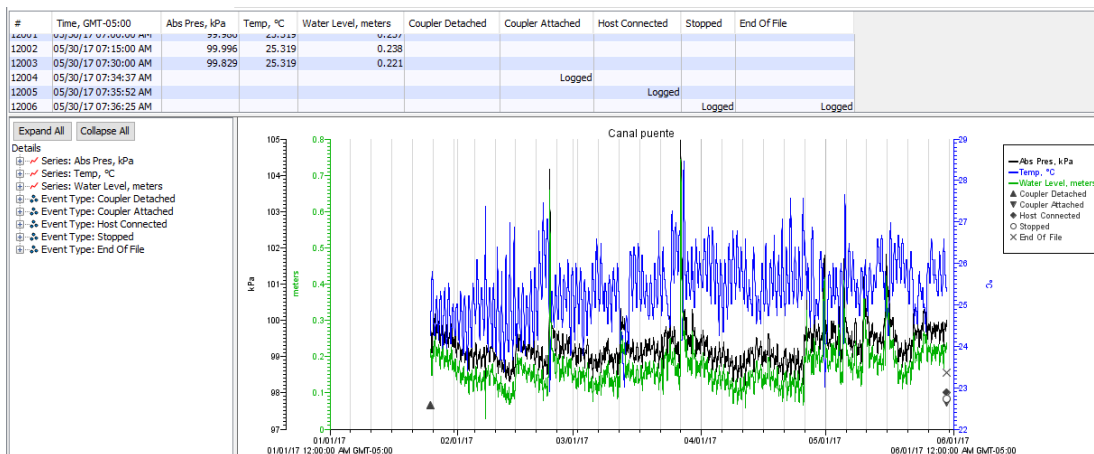
En el presente estudio se dan a conocer valores de humedad del suelo y del flujo de un canal que se utiliza para la irrigación de un cultivo de cacao (T Cacao). El Yopal, Casanare está ubicado con coordenadas geográficas de  $5^{\circ}19'31''N$  y  $72^{\circ}17'48''W$ , una temperatura media mensual de  $32^{\circ}C$ , valores de lluvia anuales entre 1800 – 2200 mm, humedad relativa entre 80 – 90% y evapotranspiración potencial (Eto) entre 6 – 8 mm/día. Las condiciones ambientales son adversas para el cultivo, y se requiere un adecuado manejo del agua. Estudios sobre cultivos promisorios de la región han establecido dosis de agua de alrededor de 30 litros-planta por riego, teniendo en cuenta que la plantación esta sembrada al tres bolillo al 3.5 m x 3.5, en lo que se tienen alrededor de 950 arboles de cacao, por lo tanto son 28.500 litros de agua para satisfacer la demanda de agua del cultivo, lo cual a esta cantidad de agua hay que considerar las perdidas de agua en el sistema. Este estudio es un aporte al monitoreo del agua y del calendario de riego para el cultivo de cacao en el Yopal, Casanare. La planeación para la adaptación y cambio requiere de un adecuado conocimiento de los procesos que delimitan el balance hídrico (físicos y antrópicos), calidad del agua (ej., concentración de compuestos químicos, sedimentos y microorganismos), y su relación con los sistemas de producción agrícola en los cuales, la medición continua de variables climáticas, de suelo y respuesta biológica hacen parte fundamental.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El nivel de agua del canal fue monitoreado con un sensor de presión de agua marca HOB0 Water Level (13 ft) Data Logger - U20L-04. Los datos monitoreados fueron entre Agosto del 2016 y Agosto del 2017. Los datos fueron registrados cada 15 minutos. Para la descarga de los datos del sensor de presión se utilizó el software Hobo WarePro. Para la seguridad del equipo en campo se instaló un tubo de PVC de 3” plástico sujetado a un ángulo de hierro fijado en el lecho del río. La altura inicial del agua en el momento de iniciar el equipo fue de 15 cm. La Figura 1 muestra la instalación del equipo en campo. La Figura 2 muestra el interfaz de los datos en el software Hobo Ware Pro.



Figura 1. Montaje del sensor de presión en el canal de riego monitoreado



La Figura 2 muestra el interfaz de la salida del seguimiento de los datos en Hobo Ware Pro.

Los datos fueron procesados con el uso de Autocad Civil 3D, para ello se levantó en campo los puntos de las secciones del canal con una estación topográfica TOPCON. Se procesó la información y se exportó a HEC-RAS. Una vez tenida las secciones se corrió el modelo y se estableció la curva de elevación descarga. La siguiente Figura 3 muestra la relación elevación

descarga producida en el modelo hidráulico. Con la ecuación de la relación H vs Q, se calcularon los caudales según la altura del tirante del canal.

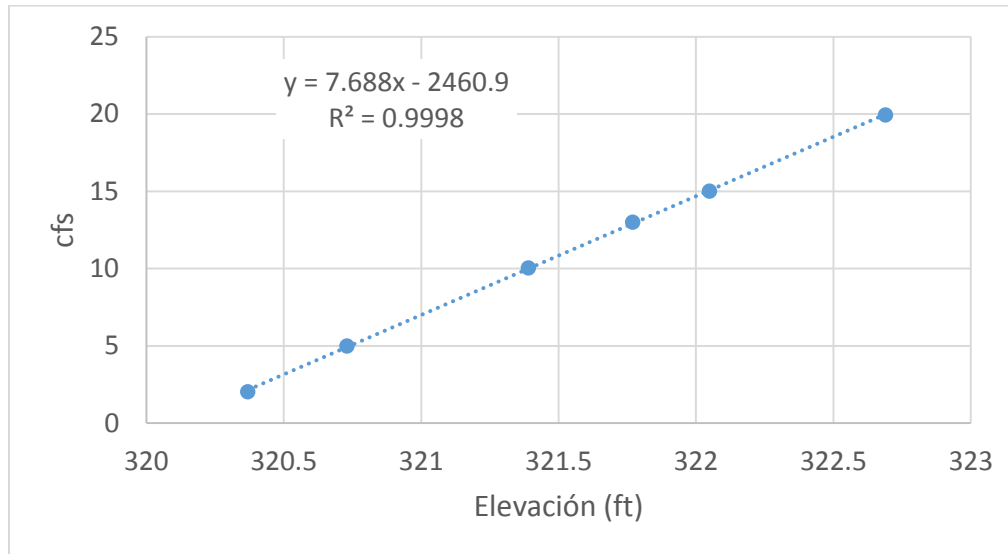


Figura 3. Modelo elevación (ft) descarga (cfs) obtenido con HEC-RAS

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 4 y 5 muestran el comportamiento de la altura y del flujo del canal monitoreado. Se logró observar que los niveles mínimos de flujo se presentan entre enero y mayo, con valores que oscilan entre 0.2 m y 200 l/s, en la época de agosto y enero valores de 0.4 m y 300 l/s respectivamente. Se aprecia como los hidrogramas alcanza picos según los eventos de lluvia, y no mantienen el flujo, seguramente esta situación es debida a que los suelos de cuenca de la zona de estudio son poco profundos, franco arcilloso, de baja velocidad de infiltración, por lo que, su mayoría el agua de lluvia se convierte en escorrentía. Adicionalmente, la erosión del suelo y transporte de sedimentos (Jones et al., 1994, Morgan, 1997) asociada a eventos de tormenta agravan la problemática dada su capacidad de degradación de la estructura del suelo y riveras de ríos (Fox et al., 2007, Chu et al., 2008a, 2008b, 2009).

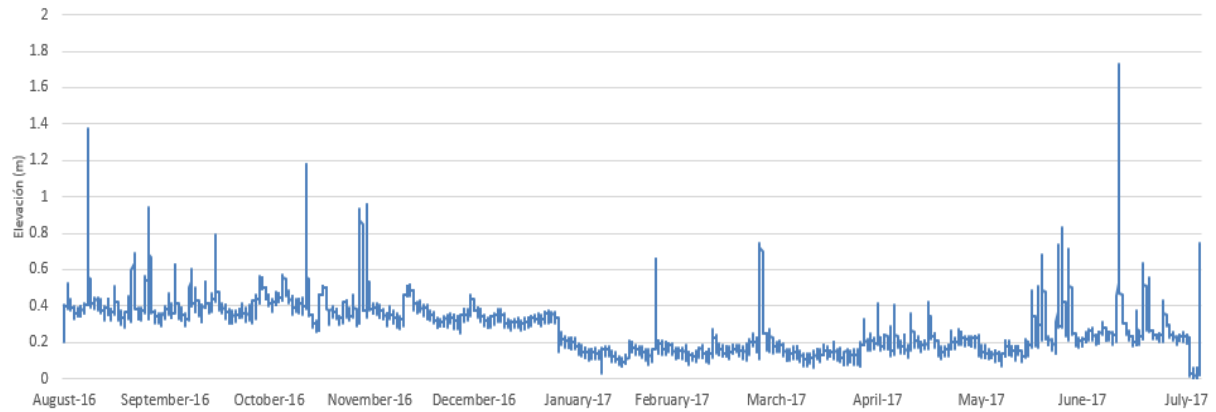


Figura 4. Elevación (m) del canal para el periodo Agosto 2016 – Agosto 2017

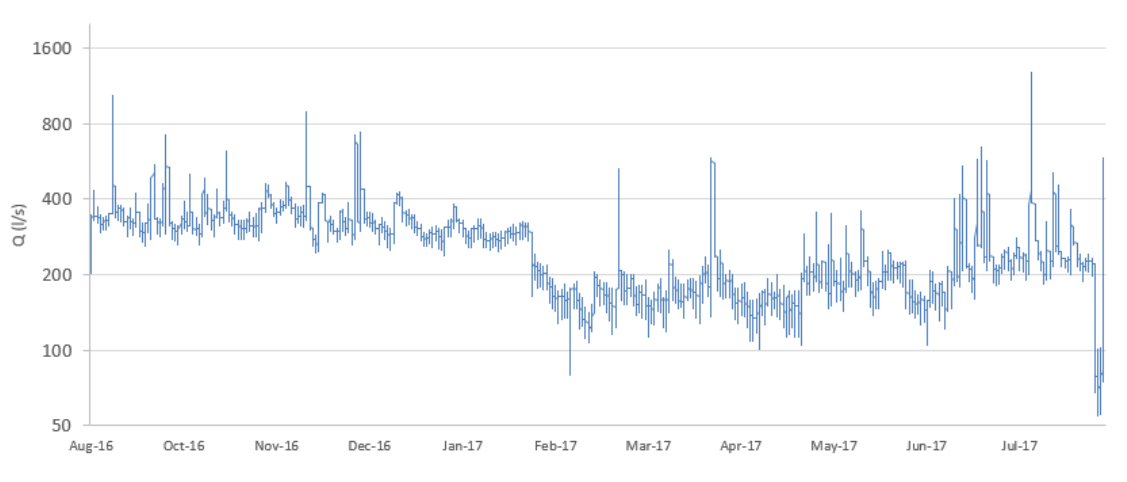


Figura 5. Descarga (l/s) del canal para el periodo Agosto 2016 – Agosto 2017

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos del seguimiento de la humedad del suelo en el cultivo de cacao (T Cacao), los cuales siguen la tendencia de los eventos de lluvia monitoreados en el año de estudio se aprecia como el agua se presenta en altos contenidos en valores de 90 cm, sin embargo para los valores de 30 y 60 cm de profundidad son similares para la época seca. En la zona de estudio existen lluvias anuales entre 2000 mm (Bustamante et al., 2013), a pesar de ello el comportamiento es bimodal y se presentan épocas marcadas con sequías y deterioro de la producción agrícola. La baja disponibilidad de agua y los efectos de cambio climático, se recurre a la implementación de tecnologías como el riego por goteo



en donde la eficiencia de este sistema se encuentra alrededor del 90% - 95% (Sánchez et al., 2003).

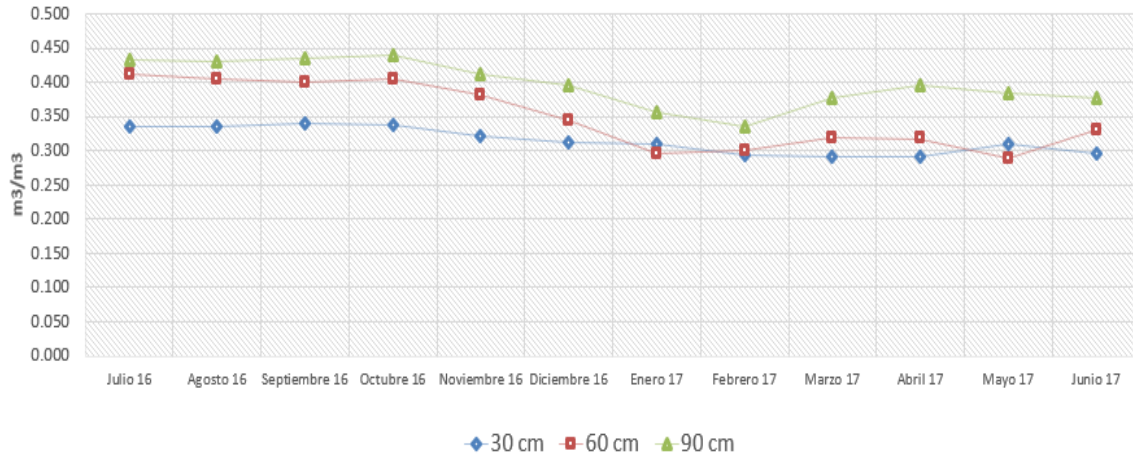


Figura 6. Valores medios mensuales humedad del suelo cultivo de cacao (T Cacao)

Los cultivos necesitan, para satisfacer sus procesos fisiológicos, un balance entre la relación agua-suelo-planta; el riego es una técnica para suplir en frecuencia y cantidad los requerimientos hídricos de las plantas. Sin embargo, debido a la limitada oferta de agua, variación del clima, costos de infraestructura y bajo nivel mano de obra calificada, esta tecnología requiere de planes estratégicos de desarrollo rural, soportados en estudios que evidencien los beneficios hídricos. Es una necesidad para Colombia que el sector productivo rural se adapte al cambio climático, esta situación juega un papel muy importante para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria del país. Bajo esta situación es de gran importancia la implementación de sistemas de riego que suplan las necesidades de la producción agrícola. Sin embargo, la agricultura de la nación no presenta infraestructura de riego capaz poner a producir el campo (Contraloría, 2013). El IPCC, 2007 define la adaptación como: “aquellas iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático. La FAO (Food and Agriculture Organization - Organización de las Naciones Unidas para la



Alimentación y la Agricultura), como agencia especializada de las Naciones Unidas para fomentar la seguridad alimentaria y disminución de la pobreza, establece que las tecnologías de riego podrían ser de impacto positivo de desarrollo para la población rural (DNP, 2012).

### CONCLUSIONES

Este estudio permitió cuantificar el flujo de agua disponible en el canal para el riego del cultivo de cacao (T cacao) en la zona de estudio. Se apreciaron los contenidos de agua disponibles en las profundidades de 30, 60 y 90 cm. El uso de sensores de presión es una alternativa viable para estimar caudales con registros continuos según los niveles del canal, en donde es necesario el procesamiento de los datos con herramientas informáticas. Se encontraron valores de flujo base entre 200 – 300 l/s.

### BIBLIOGRAFÍA

- Bustamante, A., Páez, A., Espitia, J., Cárdenas, E. 2013. Análisis de datos meteorológicos para identificar y definir el clima en Yopal, Casanare. Revista de medicina veterinaria. N° 25 enero – junio de 2013. P 85-92. Bogotá, Colombia.
- Chu-Agor, M., Fox, G.A., Cancienne, R., y Wilson, G.V. (2008a). Seepage caused tension failures and erosion undercutting of hillslopes. J. Hydrol. 359(2008), 247-259.
- Chu-Agor, M., Fox, G.A., y Wilson. G.V. (2009). Empirical sediment transport function predicting seepage erosion undercutting for cohesive bank failure prediction. J. Hydrol. 377(2009), 155-164.
- Chu-Agor, M., Wilson, G.V. y Fox, G.A. (2008b). Numerical modeling of bank instability by seepage erosion undercutting of layered streambanks. J. Hydrol. Eng. 13(12), 1133-1145.
- DNP. 2012. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: adaptación bases conceptuales. Marco conceptual y lineamientos. Resumen ejecutivo. Pág. 8.

Fox, G.A., M.L. Chu-Agor, and G.V. Wilson. (2007). Erosion of noncohesive sediment by groundwater seepage flow: experiments and numerical modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(6): 1822-1830.

García, M., Piñeros, A., Bernal, FA., y Ardila, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (36), 60-64.

IPCC. 2007. Informe del Grupo de Trabajo II Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.  
<http://www.fao.org/docrep/012/ak209s/ak209s00.pdf>.

Jones, C.A., Griggs, R.H., Williams, J.R y Srinivasan, R (1994). Tema 1: Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo. En línea. Disponible en:  
<http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s03.htm>.

MADR. 2005. La cadena del Cacao en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Disponible en:  
[http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/5890/1/2005112145659\\_caracterizacion\\_cacao.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/5890/1/2005112145659_caracterizacion_cacao.pdf).

Magrin, G. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL.

Morgan, R. (1997). Erosión y conservación del suelo, Mundi-Prensa Libros.

Ramirez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., Navarro-Racines, C.E. 2012. A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: Perspectives towards 2050. *Climatic Change*, 115 (3-4), pp. 611-628.

Sánchez, A, Miquilena, O, Flores, R. 2003. Comportamiento de la *Leucaena leucocephala* durante el establecimiento regada por goteo. artesanal en ambiente semiárido. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2003, 20: 352-363.

## MAQUINARIA AGRÍCOLA Y AGROINDUSTRIAL

## IMPORTANCIA DE LA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS EN MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

**Ingeniero Armando Alvarado Chaves.**  
**aalvarado@tec.ac.cr**  
**(506) 2550 2271**  
**Costarricense**

### RESUMEN

En este trabajo se denota, la importancia que tienen los registros con datos propios, generados en cada empresa, para el cálculo de costos o de tarifas. Se presenta, sólo algunos ejemplos para mostrar cómo influyen los datos recolectados, en los resultados, al ser comparados con cálculos usando datos obtenidos de otras fuentes.

**Palabras clave:** Mecanización agrícola, Recolección de datos, Tarifas mecanización, Costos mecanización

### INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de las fincas agrícolas y las estaciones de maquinaria que prestan servicios a terceras personas, carecen de cálculos que indiquen a los administradores, cuales son los costos reales o al menos aproximados, en los que se incurre por el uso de la maquinaria.

En muchas fincas y estaciones de mecanización no se llevan registros para el cálculo de costos y algunas veces los costos o tarifas son calculadas con base en datos obtenidos en otros países, con condiciones muy distintas a las de los nuestros.

Como consecuencia de lo anterior, los costos de la mecanización la mayoría de las veces son aproximados y muchas veces las tarifas que se cobran a terceros son antojadizas, siguiendo solamente las tendencias del mercado, mercado que en muchos casos sólo se refiere a lo que cobra el vecino u otras empresas de servicio, sin haberse realizado un cálculo que tome en cuenta los verdaderos parámetros establecidos como costos.

### OBJETIVO

Mostrar la importancia de la generación de datos propios, para el cálculo de costos en la mecanización agrícola.

En Costa Rica, para el cálculo de costos en las fincas y para el cálculo de tarifas que se cobran a los usuarios de los servicios de mecanización, se utiliza el cuadro de la página siguiente.

Cuadro 1. Cálculo de costos para chapeadora.

Valor actualizado <b>351.000</b> ¢ Vida útil según tiempo <b>4</b> años Vida útil según trabajo <b>600</b> ha Ocupación anual <b>148</b> ha Costo de operación <b>150</b> ¢/hora	Tiempo requerido por ha <b>1,2</b> horas Necesidad de espacio <b>6</b> m <sup>2</sup> Factor de reparación <b>0,63</b> Mantenimiento <b>0,2</b> horas hora Tasa de interés <b>27</b> %		
COSTOS FIJOS		COSTOS EN COLONES	
		Por año	Por hora, ha
1. Depreciación: $\frac{\text{Valor actualizado}}{\text{Años de vida útil}}$		<b>87 750</b>	
2. Intereses. 27 % de 0.6 x Valor actualizado		<b>8 262</b>	
3. Alquiler Galerón <b>6</b> m <sup>2</sup> a <b>300</b> ¢/ m <sup>2</sup>		<b>1 800</b>	
4. Seguros y tasas			
5. Total costos fijos por año: suma 1 + 2 + 3 + 4		<b>97 812</b>	
6. Costos fijos por unidad de trabajo: $\frac{\text{Valor 5}}{\text{Ocupación anual}}$			<b>661</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>			
7.Reparaciones: $\frac{\text{Valor actualizado} \times \text{Factor de reparación}}{\text{Vida útil según trabajo}}$			<b>139</b>
8. Mantenimiento: <b>0,2</b> horas a <b>150</b> ¢ / hora			<b>30</b>
9. Combustible: litros a ¢ / litro			
10. Lubricantes: litros a ¢ / litro			
11. Total costos variables por unidad de trabajo: suma 7+8+9+10			<b>169</b>
12. Total costos fijos y variables por unidad de trabajo : Suma 6+11			<b>830</b>
13. ADMINISTRACIÓN, RIESGO <b>20</b> % del valor 12			<b>166</b>
14. Costos para la máquina sola por unidad de trabajo: Suma 12 + 13			<b>996</b>
15. COSTO DE OPERACIÓN (solo para máquinas automotrices)			
16. Costo para la máquina automotriz sola más operador: suma 14 + 15			
Costo para realizar el trabajo con tractor e implemento			
17. Tractor con operador por ha: Costo del tractor con operador (¢/hora x Tiempo requerido en horas por ha)			<b>2 832</b>
18. Implemento: Costo por ha (sin operador) = Valor 14			<b>996</b>
19. Costo completo para trabajar 1 ha: Suma 17 +18			<b>3 828</b>
20. Costo completo para trabajar 1 manzana: 0.7 x valor 19			<b>2 679</b>
21. Costo completo por hora de trabajo: $\frac{\text{Valor 19}}{\text{Tiempo requerido por ha}}$			<b>3 190</b>

## USO DE REGISTROS EN LA MECANIZACIÓN

Los registros relacionados con la mecanización agrícola son muy importantes para la toma de decisiones. Sin embargo, si los datos de dichos registros no son confiables o no se analizan detenidamente para lograr información útil, de nada vale el esfuerzo que se haya hecho para obtenerlos. En muchas estaciones de maquinaria agrícola se lleva a cabo una serie de registros, pero en la mayoría de los casos, muchos de esos datos no son válidos porque no son confiables, debido a que los operadores suelen cometer errores al anotarlos o, lo que es peor, olvidan ciertos datos, para más tarde registrar uno cualquiera. De ahí la necesidad de llevar registros **confiables**, como único medio para obtener datos reales que permitan realizar cálculos certeros, en el momento de seleccionar maquinaria o cuando deban llevarse a cabo análisis de costos de nuevas inversiones, etc. Además, como las condiciones de cada finca o región son diferentes, esos registros se hacen aún más necesarios, como única forma de contar con información valiosa y confiable, para cada caso en particular.

Cuando se realiza el cálculo de tarifas por primera vez y no se tienen datos propios, se hace uso de datos tomados de cuadros elaborados en otros países o, en el mejor de los casos, de información obtenida de estaciones locales con condiciones parecidas (pero no iguales) a las de la estación o finca en la que se están registrando los datos por primera vez. En estos casos también es importante llevar los registros, para generar **datos propios**, teniendo el cuidado de actualizarlos, cada tres o seis meses o después de una jornada de trabajo, con los resultados que vayan obteniéndose.

Pero, ¿cómo podemos usar los datos de los registros? Sí nos remitimos a la hoja de cálculo de costos, se tienen, en primer lugar, los costos fijos. Debe iniciarse con el cálculo de la depreciación que, como usted sabe, es igual al valor actualizado, dividido por los años de vida útil, es decir:

### Valor actualizado

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Valor actualizado}}{\text{Años de vida útil}}$$

El valor actualizado es un dato fácil de encontrar, ya sea tomando el valor de compra y sumándole la inflación que rija en ese momento o, en su defecto, averiguando en el mercado (agencias de venta de maquinaria agrícola), el valor actual de una máquina igual o parecida a la que se desea remplazar. Aún así, el valor actualizado es un dato que puede hacer variar el valor de la depreciación en poco tiempo, porque depende principalmente de la inflación y de los precios que suministren las agencias vendedoras de maquinaria en el momento en que se realicen los cálculos.

Los años de vida útil para cada máquina es un valor que, aunque lo suministra el fabricante, puede variar, debido a que, puede calcularse de dos formas; la primera, tomando en cuenta los años de vida útil según tiempo y, la segunda, con los años de vida útil según trabajo. Normalmente los fabricantes de tractores dan el dato de vida útil en horas, indicando que la vida útil de un tractor de dos ejes, trabajando en condiciones normales, es de 10 000 horas. Por eso cuando se calcula la vida útil según tiempo, se dice que un tractor tiene 10 años de vida útil, si trabaja un promedio de 1 000 horas por año. Sin embargo, si no se tiene la certeza de que un tractor va a trabajar 1 000 horas por año, el dato de vida útil va a variar. Veamos un ejemplo: un tractor que trabaja 750 horas por año tendrá siempre una vida útil de 10 000 horas, pero tardará en cumplirlas más años que uno que trabaja 1 200 horas por año. Si calculamos la vida útil del primero, tendremos  $10\,000 \text{ horas} / 750 \text{ horas año} = \mathbf{13,33 \text{ años}}$  y en el segundo caso su vida útil será de  $10\,000 \text{ horas} / 1200 \text{ horas año} = \mathbf{8,33 \text{ años}}$ . Lo mismo ocurre con los arados, las rastras, las sembradoras y otros implementos.

La única manera que tiene el administrador de maquinaria de darse cuenta de cuántas horas o cuantas hectáreas trabajará una máquina, es por medio de los registros. Un registro (formulario) importante para llevar este control lo constituye *la libreta del tractor*, en donde deben anotarse datos como: el lugar donde se trabaja (lo cual indica en qué condiciones se realiza el trabajo), el implemento con que se trabaja, la hora de inicio y finalización del

horómetro o reloj (que ayuda a calcular el tiempo que se invierte realizando una labor), y la superficie trabajada, en hectáreas o manzanas.

Cuadro 2. Libreta del tractor

Finca o estación de maquinaria \_\_\_\_\_ Tractor \_\_\_\_\_

Inicio horómetro \_\_\_\_\_ Final \_\_\_\_\_ Inicio reloj \_\_\_\_\_ Final \_\_\_\_\_

Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_

Fecha	Cliente	Lugar	Implemento (código)	Trabajo productivo				Superficie ha, mz	Observaciones	Firma operador
				Según horómetro		Según reloj				
				Inicio Δ	Final	Inicio Δ	Final			

El símbolo Δ significa diferencia, o sea, la discrepancia entre el dato inicial y el final.

El símbolo Δ significa diferencia, o sea, la discrepancia entre el dato inicial y el final.

Con los datos de esta libreta, al final de un periodo, pueden conocerse:

⇒ Cuántas horas trabajó un tractor y cuales labores realizó durante ese periodo.



- ⇒ Cuantas horas invirtió en cada labor (arando, rastreando, sembrando, etc.) y el número de implemento con que llevó a cabo cada una de ellas.
- ⇒ Qué cantidad de terreno se preparó con cada implemento y cuánto tiempo se duró por unidad de área (ha, mz) en las diversas actividades. Lo anterior permite también comparar la habilidad de los diferentes operadores en las distintas labores, de tal manera que, en una nueva asignación de tareas, se le destine a cada uno de ellos, aquella para la cual haya demostrado mayor habilidad.

Regresando a la hoja de cálculo de costos tenemos que los costos fijos por unidad de trabajo, se obtienen dividiendo la suma de todos esos costos, entre la ocupación anual (que es un dato que se obtiene de la libreta del tractor, como se explicó anteriormente). Debemos recordar que, cuanto mayor sea la ocupación anual de una máquina, los costos fijos por unidad de área bajarán y, por lo tanto, también disminuirán los costos totales (la tarifa).

Recordemos que los intereses, el alquiler de galerón y los seguros y tasas forman parte de los costos fijos, y por lo tanto, deben tenerse en cuenta en el cálculo de costos (tarifas), que varían de un periodo a otro. Pero, como no son datos que se obtienen de los registros en forma directa, no nos ocuparemos de ellos en este tema.

Respecto de los costos variables, tenemos, en primer lugar, las **reparaciones**. Si se calculan por primera vez, se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Valor actualizado} * \text{Factor de reparaciones}$$

$$\text{Costo de reparaciones} = \text{-----}$$

$$\text{Vida útil según trabajo}$$

Como recordará, el valor actualizado, sabemos cómo obtenerlo; tanto el factor de reparaciones, como la vida útil según trabajo, son datos que podemos tomar de informes de otros países o de estaciones locales. Pero, no conviene calcular las tarifas todos los años con esos valores fijos, ya que varían con las condiciones peculiares de cada finca o región e, inclusive, con cambios que pueden darse en un mismo sitio a través del tiempo.

El costo de las reparaciones es un dato que puede obtenerse al final de cada ciclo de trabajo o, si se quiere, en cualquier momento del desarrollo de las actividades agrícolas, para una o para todas las máquinas, puesto que el costo de las reparaciones es único para cada máquina en particular. Sólo es posible obtener esos datos si se lleva un buen control del costo de las reparaciones de cada máquina (valor de los repuestos y la mano de obra), como se muestra en el formulario siguiente. En ese formulario también se registran las reparaciones que se le paguen a terceros, cuando sea necesario.

### Cuadro 3. Control de reparaciones por máquina

Máquina \_\_\_\_\_ Marca \_\_\_\_\_ Tipo \_\_\_\_\_  
 Año de compra \_\_\_\_\_ Precio \_\_\_\_\_ Código \_\_\_\_\_

Año/Fecha	Horómetro	Partes reparadas	Costo de repuestos material y mano de obra		
			Realizado por cuenta de la finca o estación		Realizado por terceros
			Trabajo del mecánico	Compra de repuestos	Costo de la reparación
<b>Total</b>					

Otro dato que se incluye en el cálculo de tarifas es la **vida útil según trabajo**, que ya sabemos. Por lo tanto, una vez conocidos los datos anteriores, nos es posible calcular un nuevo factor de reparaciones, acorde con las condiciones reales de trabajo, de la siguiente manera:

Costo de reparaciones x Vida útil según trabajo

Factor de reparaciones = -----

Valor actualizado

Una vez conocido el valor del factor de reparaciones, podemos calcular y proyectar el costo de las reparaciones para el próximo periodo, utilizando la siguiente fórmula:

Valor actualizado x Factor de reparaciones

Costo de reparaciones = -----

**Vida útil según trabajo**

Como vimos anteriormente, al existir variaciones en los datos del factor de reparaciones y la vida útil, los costos de reparación del siguiente período, serán distintos a los calculados la primera vez, de manera que se obtiene un valor más real de dichos costos, comparados con los proyectados.

Como los costos de **mano de obra** derivados del entretenimiento de los equipos también deben calcularse, puede hacerse uso de datos de cuadros en donde ya se hayan hecho aproximaciones válidas, de experiencias anteriores. Los costos de mantenimiento suelen calcularse por medio de un factor obtenido de registros probados suficientemente, en donde se ha comprobado que en este rubro se gasta el 20% de una hora, o sea, 12 minutos por cada hora de trabajo en cada máquina.

Pero, si se quiere calcular el costo de mantenimiento por hora de trabajo de una máquina, se multiplica el costo de una hora operador, por el factor 0,2, suponiendo que corresponde al 20%, del tiempo de trabajo de un operario. Quiere decir, que al operador se le pagan 48 minutos por el trabajo con la máquina y 12 minutos por el mantenimiento. Si el operador gana, por ejemplo 300 colones la hora, se gastaría en mantenimiento 60 colones ( $300 \times 0,2 = 60$ ) por los doce minutos.

Sí se tiene un buen control de las horas que se invierten en mantenimiento en cada máquina, puede saberse a ciencia cierta, el costo del mantenimiento, es decir, de los minutos que se emplean por hora, en mantenimiento. Este dato permite calcular costos globales más exactos, aún cuando este costo sea irrelevante en su monto total.

El siguiente formulario se utiliza para el control, tanto del consumo de combustible y lubricantes, como del tiempo que se invierte en el mantenimiento.

#### Cuadro 4. Control de combustible y mantenimiento

Máquina \_\_\_\_\_ Mes \_\_\_\_\_ Año \_\_\_\_\_

Fecha	Horómetro	Combustible Litros	Lubricantes			Filtros		Mantenimiento	
			Motor	Transmisión	Hidráulico	Motor	Combustible	Tiempo requerido	Tipo
<b>Total</b>									

Para calcular el costo de mantenimiento, se utiliza la siguiente fórmula.

Costo de mantenimiento = Tiempo requerido (Factor de mant) x costo del operador (por hora).

Una vez obtenido el costo del mantenimiento para un periodo (conseguido mediante los registros), podemos calcular un nuevo factor de mantenimiento para conocer el costo de las reparaciones para el nuevo periodo, así:

$$\text{Factor de mantenimiento} = \frac{\text{Costo de mantenimiento}}{\text{Costo del operador (por hora)}}$$

El costo del combustible también es un dato muy importante a tener en cuenta para calcular los costos de nuevas inversiones, por lo que debe conocerse, con exactitud, su consumo, por cada hora de trabajo. Según investigaciones en otros países, un motor diesel, consume 0,24 litros de combustible por cada caballo de potencia que produce. Además, se ha llegado a la conclusión de que la mayoría de estos motores trabajan con un grado de esfuerzo del 40%. Si se desea calcular por primera vez el consumo de combustible para tenerlo en cuenta dentro de los costos, puede procederse así: si se parte de un tractor de 80 Hp., se tiene que:

$$\text{Consumo de combustible (lts/h)} = 0,24 \times 0,4 \times 80$$

$$\text{Consumo de combustible} = 7,2 \text{ litros/hora.}$$

Sin embargo, en estudios realizados en Costa Rica, se ha encontrado que el grado de esfuerzo no es del 40% sino del 54% lo que daría un consumo de combustible de:

$$C_c = 0,24 \times 0,54 \times 80 = 10,37 \text{ litros/hora}$$

Entonces, la diferencia entre el cálculo con 40% y 54% de grado de esfuerzo es de 3,17 litros/hora. Al multiplicar ese resultado por el precio del litro, se observa una diferencia considerable. Si el tractor tarda, por ejemplo, 3,5 horas arando una hectárea, entonces, sólo

en combustible, estaríamos dejando de incluir en los costos  $3,17 \times 3,5 \times$  precio del combustible en ese momento, o sea,  $11,095 \times$  precio del litro. Esta omisión es aún más respetable, si se tienen varios tractores trabajando una jornada de, alrededor de 900 horas por año, cada uno.

Pero, para estar seguros del grado de esfuerzo con que trabajan nuestros tractores en el país, debemos llevar un registro correcto del consumo de combustible. Esos datos deben anotarse, como hemos dicho, en la libreta de “control de consumo de combustible”, teniendo la precaución de llenar el tanque antes de cada labor. Si se cambia de tipo de trabajo (de arado a rastra por ejemplo), debe llenarse nuevamente el tanque (registrando la cantidad de combustible añadida) anotando las cifras del horómetro, con el objeto de registrar cuánto combustible se consume en cada labor, por hora. Con estos datos es posible obtener costos diferenciales en lo que se refiere a consumo de combustible, para cada labor, o calcular los costos sobre el promedio de consumo o, en su defecto, con el dato de la labor que consume más combustible.

Pero, ¿cómo podemos calcular el grado de esfuerzo de nuestros tractores?

Como contamos con los datos de la libreta de control de combustible y la libreta del tractor, en las que se anotan las fechas en las que los tractores realizan cada trabajo, la labor o labores llevadas a cabo en esas fechas, los datos de inicio y finalización del horómetro y las cantidades de combustible consumidas en cada labor realizada, podemos calcular el consumo de combustible por hora, en las distintas labores. Recordemos que la fórmula para calcular el consumo de combustible es la siguiente.

Consumo de combustible =  $0,24^{11} \times$  grado de esfuerzo  $\times$  potencia.

Si despejamos de la fórmula, el grado de esfuerzo, tenemos:

---

<sup>11</sup> Como se dijo anteriormente, este es un dato preestablecido para motores diésel.

### Consumo de combustible (l/h)

Grado de esfuerzo = -----

0,24 x Potencia (Hp)

Para calcular el grado de esfuerzo necesitamos conocer, en primer lugar, el consumo de combustible por hora (que lo obtenemos de los registros, como se explicó anteriormente) y, en segundo lugar, la potencia del tractor, dato que también conocemos. Si los reemplazamos en la fórmula, podemos obtener el grado de esfuerzo de cualquier tractor. Por ejemplo, si de los registros obtenemos que el consumo de combustible (Cc), es de 9,23 litros/h y la potencia del tractor es de 80 Hp, tenemos:

$$\text{Grado de esfuerzo} = \frac{9,23}{0,24 \times 80} = \frac{9,23}{19,2}$$

Para este ejemplo vemos que el grado de esfuerzo es 0,48, o sea, un 48%, en lugar de un 40%, que ha sido tomado como regla general para calcular el costo del combustible. Esto quiere decir se ha estado trabajando con un dato erróneo (lo que comprueba, una vez más, la importancia de contar con registros propios y datos correctos).

El costo del lubricante no lo tomaremos en cuenta, ya que no es relevante, pero si se quisiera incluir, puede también lograrse a partir de cálculos reales, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Costo de lubricantes} = 0,003 \times \text{potencia del motor} \times \text{precio del litro de lubricante}$$

También pueden obtenerse estos costos a partir de los registros de consumo de lubricantes que se registran en el formulario correspondiente con el objeto de contar con un costo más aproximado, para la siguiente campaña de trabajo.

Si tomamos en cuenta estas variaciones en los costos y llevamos los registros adecuadamente, conseguiremos costos más reales para nuestras fincas y, en el caso de que demos servicio a terceros, tarifas confiables y más justas.

### **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

Alvarado Chaves, Armando. Maquinaria y Mecanización Agrícola. San José, Costa Rica: EUNED, 2004.



## **TRÁFICO DE LA MAQUINARIA AGRÍCOLA: EFECTO SOBRE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO Y LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*) EN LA REGIÓN PAMPERA ARGENTINA**

### **AGRICULTURAL MACHINERY TRAFFIC: EFFECT ON SOIL COMPACTION AND MAIZE YIELDS (*Zea Mays L.*) IN THE PAMPAS REGION**

**Guido Fernando Botta:** <sup>(1)</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía Cátedra de Maquinaria Agrícola. Buenos Aires, Argentina. <sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Luján Departamento de Tecnología, Argentina Email: [gfbotta@agro.uba.ar](mailto:gfbotta@agro.uba.ar)

**Alfredo Tolón Becerra** <sup>(3)</sup> Universidad de Almería, Cátedra de Área de proyectos de Ingeniería, Almería, España. Email: [atolon@ual.es](mailto:atolon@ual.es)

**Daniel Andrés Laureda:** <sup>(1)</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía Cátedra de Topografía. Buenos Aires, Argentina. Email: [dlaureda@agro.uba.ar](mailto:dlaureda@agro.uba.ar)

**Enrique Ernesto Contessotto** <sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Luján Departamento de Tecnología, Argentina Email: [jenrique22@hotmail.com](mailto:jenrique22@hotmail.com)

**Ezequiel R. David Rivero** <sup>(4)</sup> Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, Cátedra de Maquinaria Agrícola. Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Email: [davidrivero79@hotmail.com](mailto:davidrivero79@hotmail.com)

**Silverio Juan Barneto** <sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Luján Departamento de Tecnología, Argentina Email: [sjbarneto@yahoo.com.ar](mailto:sjbarneto@yahoo.com.ar)

**Andrés Fonterosa** <sup>(1)</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía Cátedra de Maquinaria Agrícola. Buenos Aires, Argentina. Email: [afonterosa@agro.uba.ar](mailto:afonterosa@agro.uba.ar)

#### **RESUMEN**

Nuestro principal objetivo fue evaluar el efecto de la compactación del subsuelo sobre los rendimientos del maíz (*Zea mays L.*). Este trabajo se realizó en suelo arcilloso y suelo limoso. Se utilizaron tres tipos de equipos de siembra directa (DS) (Equipo pesado (EP), Equipo mediano (EM) y Equipo ligero (EL)). Nuestra hipótesis fue que la aplicación de DS durante cinco años continuos causaría la compactación del subsuelo y que los rendimientos de maíz se verían afectados. Se midió el índice de cono (IC), la materia seca de raíz por planta (MSR) y los rendimientos de maíz (RM). Los resultados muestran que después de cinco años, los valores de IC producidos por EP fueron más altos en el suelo arcilloso que en el suelo franco.

En el sitio 1, los valores promedio más altos de MSR fueron medidos para EL y EM siendo 45.9 y 43.1 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el valor más alto en el EP fue 35.6 g planta<sup>-1</sup>. Para el sitio 2, los más altos valores de MSR fueron medidos para EL y EM 42.6 y 38.2 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el valor más alto en el tratamiento EP fue 30.2 g planta<sup>-1</sup>. En ambos sitios, el EP resultó en un rendimiento de maíz significativamente más bajo (14.85 y 11.11% para los sitios 1 y 2, respectivamente). Las principales conclusiones fueron que cuando el suelo arcilloso y francos fueron traficados con EP (177.9 kN) durante cinco años, el IC aumentó en el subsuelo y esto afectaría los rendimientos del maíz.

**Palabras claves:** índice de cono, intensidad de tránsito, cobertura de suelo

#### ABSTRACT

Our main objective was to evaluate the effect of subsoil compaction on maize (*Zea mays* L.) yields. This work was performed on clayey soil and on loamy soil. Three types of direct sowing (DS) equipment (heavy load (HL), medium load (ML) and light load (LL)) were utilised. We hypothesised that the application of DS over five continuous years would cause subsoil compaction and that maize yields would be affected. The cone index (CI), root dry matter per plant (RDM) and maize yields (MY) were measured. The results show that after five years, the CI values produced by the HL treatment were higher in clayey soil than in loamy soil. At site 1, the highest average RDM values were measurements for the LL and ML treatments were 45.9 and 43.1 g plant<sup>-1</sup>, respectively, whereas the highest value in the HL treatment was 35.6 g plant<sup>-1</sup>. For site 2, the highest RDM values were measurements for the LL and ML treatments were 42.6 and 38.2 g plant<sup>-1</sup>, respectively, whereas the highest value in the HL treatment was 30.2 g plant<sup>-1</sup>. At both sites, the HL resulted in a significantly lower maize yield (14.85 and 11.11 for sites 1 and 2, respectively). The main conclusion was that when clayey and loamy soil was trafficked with HL (177.9 kN) for five years, the CI was increased in the subsoil and would have affected the maize yields.

**Keywords:** Cone index, traffic intensity, ground cover

## INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo se asocia con muchos problemas ambientales y agronómicos, como la erosión, la lixiviación de agroquímicos que reciben los cuerpos de agua, las emisiones de gases de efecto invernadero y las pérdidas de rendimiento de los cultivos.

Botta (2016) encontró que en el suelo en la región noreste de la Pampa (Argentina) con un alto contenido de arcilla, el aflojamiento del mismo por la labranza convencional forma más macroporos en el comienzo de la temporada. La persistencia de esta alteración depende principalmente de la estabilidad estructural del suelo, los patrones de lluvia después de la labranza, y la ocurrencia y el tiempo de tránsito de campo para la siembra directa (SD). Canarache et al. (1984) encontró que por cada  $1 \text{ kg m}^{-3}$  en el aumento de la densidad aparente, los rendimientos de maíz en suelos de Rumania (clima continental) se redujeron en un 18% con respecto a una parcela no compactada.

La siembra directa fue adaptada en la década de 1980 en Argentina, en la actualidad, > 22 millones de hectáreas se siembran con este sistema. Para mejorar los niveles de producción, los sistemas apropiados de labranza deben ser diseñados para cada tipo y condición del suelo.

La SD requiere maquinaria pesada para la siembra (11.5 Mg) y tractores (5-10 mg); estas cargas altas producen compactación del subsuelo (Botta et al, 2015.). Esta compactación persiste durante cinco o más años, dependiendo del contenido de arcilla del suelo. Además, Chamen (2011) reportó aumento del índice de cono del suelo superficial y subsuperficial en la primera temporada después de la compactación del suelo. Según Botta et al. (2015) la compactación del subsuelo es reconocida como un problema importante en el campo de la agricultura y en el plano político debido a su persistencia.

En síntesis, no son muchos los aportes sobre la compactación subsuperficial del suelo y su efecto sobre el rendimiento de los cultivos, siendo, los principales objetivos de este trabajo: (a) determinar los efectos del tráfico de equipos de distinto peso sobre el índice de cono del suelo y el rendimiento del maíz y (b) para cuantificar el cambio en el índice de cono del

subsuelo de un suelo Argiudol típico, después de cinco años de aplicación continua de los sistemas de siembra directa.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó durante 5 estaciones de crecimiento sobre un suelo Argiudol típico (Soil Conservation Service, 1994) en la provincia de Buenos Aires, partido de Luján (sitio 1) Haplustol Entico (Soil Conservation Service, 1994) también en la provincia Buenos Aires en el partido de Trenque Lauquen (sitio 2) Argentina. La distancia entre ambos sitios es de 390 km.

La maquinaria utilizada, se muestra en la tabla 1. El tratamiento testigo fue el equipo formado por el tractor descrito en el párrafo anterior y la sembradora S3. Este tratamiento representa un equipo comúnmente utilizado en ambas regiones en estudio.

Doce parcelas de 100 m por 7 m (10 filas, 0,70 m de distancia) se asignaron al azar con cuatro repeticiones para cada tratamiento (se describen en la tabla 1). Entre cada parcela se instaló una zona de amortiguamiento de 20 m de ancho para evitar interacciones.

El maíz sembrado en todas las parcelas y en ambos sitios fue un DK4F37 maíz híbrido (*Zea mays* L.) con distancia entre surcos de 0.70 m. Antes del estudio, ambos campos fueron sembrados con alfalfa (*Medicago sativa* L.). El maíz se sembró el 7, 5, 6, 8 y 6 de octubre de cada año. En el sitio 1, el maíz se cosechó el 28, 10, 09, 11 y 9 de marzo de cada año para todos los tratamientos. En el sitio 2, el maíz se cosechó el 21, 20, 24, 28 y 27 de marzo también de cada año. El rendimiento se midió utilizando cuadrantes pequeños.

**Tabla 1: Descripción de los tratamientos ensayados**

Tratamientos	Tractor FWA (160 CV/117 Kw) +	Tractor FWA (160 CV/117 Kw) +	Tractor FWA (160 CV/117 Kw) +
	Sembradora 1	Sembradora 2	Sembradora 3
	Equipo Liviano (144 kN) (E.L.)	Equipo Medio (167.6 kN) (E.M.)	Equipo Peso (177.9 kN) (E.P.)
Especificaciones de la sembradora	Sembradora 1	Sembradora 2	Sembradora 3
Peso total (kN)	46.0	69.6	79.9
Ancho (mm)	4375	7000	8400
Unidades	7	10	16
Distancia entre hileras (mm)	700	700	525
Dosificador	Plato alveolado	Plato alveolado	Plato alveolado
Neumáticos	14.9 – 24	400/60-15.5	6.50 -16
Presión rueda/suelo (kPa)	95.1	122	155
Tren de siembra	Doble disco con rueda limitadora de profundidad	Cuchilla turbo + Doble disco abridor	Doble disco 16” con 2 ruedas niveladoras

En ambos sitios el equipo circuló a una velocidad de 5 km h<sup>-1</sup>. Las semillas se distribuyeron a lo largo de cada metro lineal de surco. El contenido de agua del suelo (CAS) y las mediciones del penetrometría se recogieron de forma simultánea. CAS se midió con una sonda Troxler 3440 en profundidades de 0 a 150 mm, 150 a 300 mm, y de 300 a 450 mm de profundidad. El índice de cono (IC) se midió con un penetrómetro grabación de Scouts 900 S 313 (norma ASABE EP542, 2013). Las mediciones del índice de cono se hicieron cada año al final de la temporada de crecimiento. La materia seca radical (MSR) se midió 8 semanas después de la emergencia de las plántulas (en floración). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) para cada año, y los promedios se analizaron mediante pruebas de rangos múltiples de Duncan utilizando el programa de Statgraf 7.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de agua del suelo (w/w) no fue significativamente diferente entre los tratamientos o los sitios durante los 5 años, por lo tanto, las diferencias que se encontraron en la emergencia de las plántulas puede ser el resultado de la aplicación de los distintos tratamientos. Sin embargo, ninguna diferencia en la emergencia de las plántulas se observó durante cinco años. Los cuadros 1 y 2 muestran los valores promedio de las mediciones de IC para el sitio 1 y sitio 2 desde la primera a la quinta estación de crecimiento. Para el EP,

los valores máximos de IC se produjeron a mayor profundidad cada año. Todos los valores superaron a los conocidos por ser críticos para el retraso del crecimiento radicular (Botta et al., 2015). En el primer año de este ensayo, los valores máximos de IC fueron encontrados en la capa superior del suelo (0 - 150 mm) para todos los tratamientos. Según Chamen (2011), la mayor parte de esta reducción del rendimiento fue causado muy probablemente por el daño a la estructura del suelo como resultado de la presión sobre el mismo. En ambos sitios, la materia seca de la raíz (MSR) se vio afectada negativamente por la compactación del suelo. A medida que el índice de cono del suelo aumentó, MSR disminuyó en el perfil del suelo (Figura 1). En el sitio 1, los valores medios más altos MSR durante las cinco temporadas de cultivo se encontraron entre la primera y la segunda estación de crecimiento, las medidas para los tratamientos de EL y EM eran de 49.1 y 44.1 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el valor más alto producido luego del paso del EP fue de 38.2 g de planta<sup>-1</sup>.

**Cuadro 1. Medias de índice de cono (MPa) después de los tres tratamientos de tráfico (labor de siembra) para los 5 años de estudio (Sitio 1).**

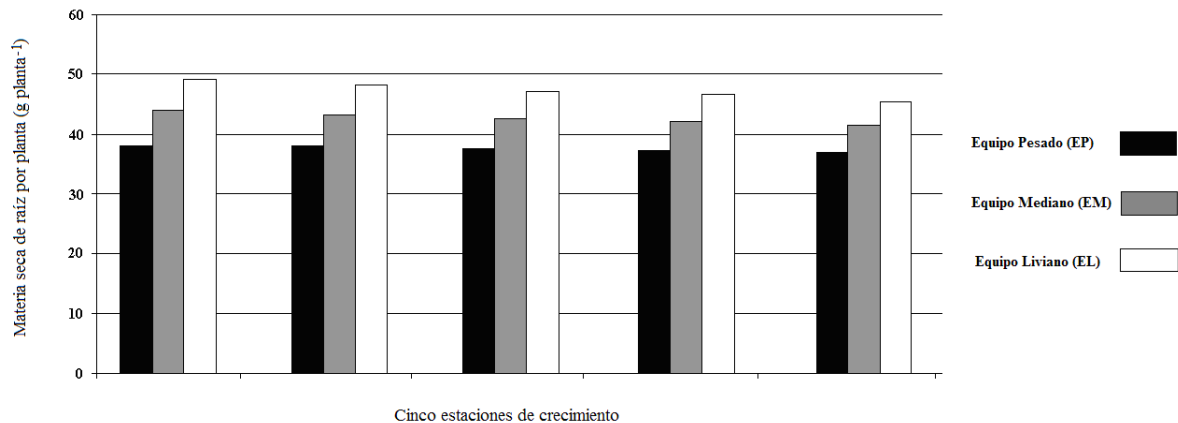
SITIO 1															
	Primera estación de crecimiento			Segunda estación de crecimiento			Tercera estación de crecimiento			Cuarta estación de crecimiento			Quinta estación de crecimiento		
	Tratamientos														
Prof. (mm)	EP	EM	EL	EP	EM	EL	EP	EM	EL	EP	EM	EL	EP	EM	EL
0	2.5 b	1.8 a	1.6 a	2.6 b	2.3 b	1.9 a	3.2 b	2.6 a	2.2 a	3.5 b	2.8 a	2.4 a	3.8 b	2.9 a	2.6 a
50	2.7 b	1.9 a	1.8 a	2.9 b	2.4 a	2.0 a	3.3 b	2.5 a	2.2 a	3.6 b	2.7 a	2.5 a	3.8 b	2.9 a	2.7 a
100	3.6 b	2.3 a	1.9 a	3.0 b	2.4 a	2.2 a	3.5 b	2.7 a	2.4 a	3.6 b	2.9 a	2.5 a	3.9 b	3.0 a	2.7 a
150	3.4 b	2.2 a	2.0 a	3.2 b	2.6 a	2.3 a	3.6 b	2.7 a	2.5 a	3.8 b	2.9 a	2.6 a	4.0 b	3.0 a	2.8 a
200	3.3 b	2.3 a	2.2 a	3.6 b	2.7 a	2.4 a	3.6 b	2.8 a	2.6 a	3.9 b	3.0 a	2.7 a	4.1 b	3.1 a	2.8 a
250	3.2 b	2.5 a	2.4 a	3.5 b	2.6 a	2.5 a	3.8 b	2.9 a	2.6 a	4.0 b	3.1 a	2.7 a	4.2 b	3.2 a	2.9 a
300	3.1 c	2.6 b	2.0 a	3.0 b	2.7 b	2.1 a	3.9 b	3.1 a	2.8 a	4.1 b	3.2 a	2.8 a	4.3 b	3.3 a	2.9 a
350	3.0 c	2.3 b	1.9 a	3.2 b	2.1 a	2.0 a	3.5 b	2.7 a	2.3 a	4.3 b	3.3 a	2.9 a	4.4 b	3.4 a	3.0 a
400	2.8 b	2.1 a	1.7 a	3.1 b	2.0 a	2.1 a	3.4 b	2.5 a	2.2 a	4.2 b	3.2 a	2.8 a	4.6 b	3.5 a	3.1 a
450	2.8 b	1.8 a	1.5 a	2.8 b	1.9 a	1.8 a	3.3 b	2.4 a	2.0 a	4.3 b	3.2 a	2.5 a	4.5 b	3.3 a	2.9 a

Valores con letras diferentes (horizontalmente dispuestas) denotan diferencias significativas para cada nivel de profundidad ( $P < 0.01$ ) Duncan's multiple range test

**Cuadro 2. Medias de índice de cono (MPa) después de los tres tratamientos de tráfico (labor de siembra) para los 5 años de estudio (Sitio 2).**

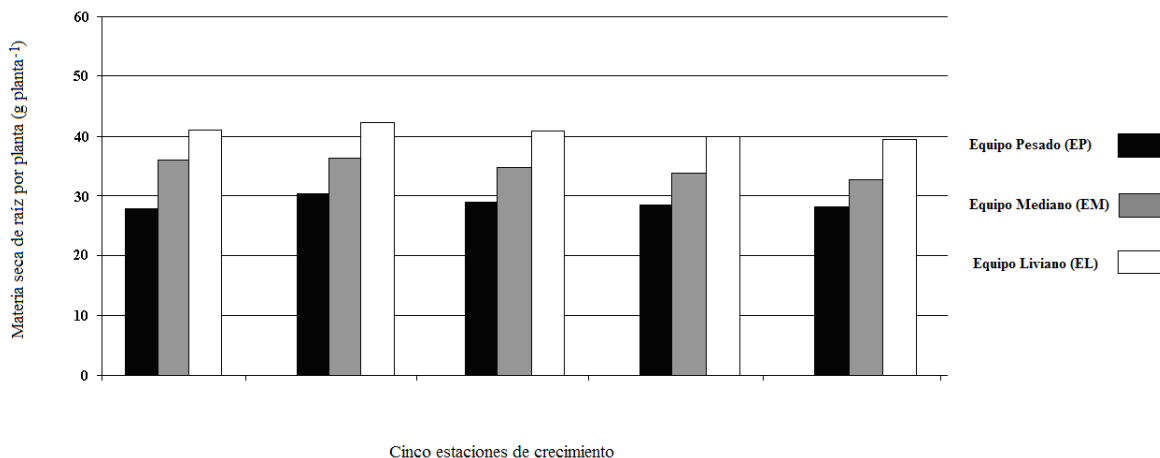
SITIO 2															
	Primera estación de crecimiento			Segunda estación de crecimiento			Tercera estación de crecimiento			Cuarta estación de crecimiento			Quinta estación de crecimiento		
	Tratamientos														
Prof. (mm)	HL	ML	LL	HL	ML	LL	HL	ML	LL	HL	ML	LL	HL	ML	LL
0	2.2 b	1.5 a	1.5 a	2.4 b	1.9 b	1.6 a	2.9 b	2.2 a	1.9 a	3.2 b	2.5 a	2.1 a	3.5 b	2.6 a	2.3 a
50	2.2 b	1.6 a	1.5 a	2.6 b	1.8 a	1.7 a	3.1 b	2.3 a	1.9 a	3.3 b	2.4 a	2.2 a	3.5 b	2.6 a	2.4 a
100	2.8 b	1.8 a	1.6 a	2.6 b	1.9 a	1.9 a	3.1 b	2.4 a	2.1 a	3.3 b	2.7 b	2.2 a	3.6 b	2.8 a	2.4 a
150	2.9 b	1.9 a	1.6 a	3.0 b	2.4 a	2.0 a	3.2 b	2.4 a	1.9 a	3.5 b	2.6 a	2.3 a	3.7 b	2.7 a	2.5 a
200	2.8 b	2.1 a	1.9 a	2.9 b	2.3 a	2.1 a	3.4 b	2.5 a	2.3 a	3.6 b	2.7 a	2.4 a	3.8 b	2.8 a	2.5 a
250	2.7 b	2.2 a	1.8 a	2.5 b	2.3 a	2.2 a	3.2 b	2.5 a	2.3 a	3.7 b	2.8 a	2.4 a	3.9 b	2.9 a	2.6 a
300	2.6 c	2.3 b	1.8 a	2.8 b	2.4 b	1.9 a	3.1 b	2.7 a	2.4 a	3.8 b	2.9 a	2.5 a	4.0 b	3.0 a	2.6 a
350	2.5 c	2.0 b	1.7 a	2.8 b	2.2 a	1.8 a	3.0 b	2.4 a	2.1 a	4.0 b	3.0 a	2.6 a	4.1 b	3.1 a	2.8 a
400	2.2 b	1.8 a	1.6 a	2.6 b	2.1 a	1.7 a	3.1 b	2.3 a	2.0 a	4.1 b	2.9 a	2.5 a	4.3 b	3.2 a	2.9 a
450	2.2 b	1.7 a	1.5 a	2.5 b	1.8 a	1.7 a	3.1 b	2.2 a	2.0 a	4.0 c	2.8 b	2.2 a	4.2 b	3.0 a	2.6 a

Valores con letras diferentes (horizontalmente dispuestas) denotan diferencias significativas para cada nivel de profundidad ( $P < 0.01$ ) Duncan's multiple range test



**Figura 1: Materia seca de Raíz (g planta<sup>-1</sup>) en el sitio 1, para las cinco estaciones de crecimiento y los tres equipos ensayados**

Para el sitio 2 (Figura 2), los valores más altos de MSR durante las cinco temporadas de cultivo se encontraron en 2006, las medidas para los tratamientos de EL y EM fueron 42.6 y 36.2 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que el valor más alto de EP fue de 30.2 g planta<sup>-1</sup>.



**Figura 2: Materia seca de Raíz (g planta<sup>-1</sup>) en el sitio 2, para las cinco estaciones de crecimiento y los tres equipos ensayados.**

En ambos sitios, el tratamiento el RM resultó significativamente menor en comparación con los tratamientos de EM y EL. Para el tratamiento del EP, la reducción fue de 14.85% y 11.11%, para los sitios 1 y 2, respectivamente (Cuadro 3). Siendo probable que la mayor parte de la reducción de la producción para el EP fue causado por el daño a las estructuras de suelo y del subsuelo debido a la alta carga.



**Cuadro 3. Rendimiento de maíz en los dos sitios de ensayo.**

SITIO 1			
Tratamientos	EP (177.9 kN)	EM (167.6 kN)	EL (144 kN)
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Primer año	10.1 a	10.2 a	10.5 a
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Segundo año	9.9 a	10.4 a	10.9 ab
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Tercer año	9.2 a	11.3 b	11.7 b
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Cuarto año	8.9 a	11.3 b	11.8 b
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Quinto año	8.6 b	11.0 b	11.9 c
Promedios (t ha <sup>-1</sup> )	9.3 a	10.8 b	11.4 c
SITIO 2			
Tratamientos	EP (177.9 kN)	EM (167.6 kN)	EL (144 kN)
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Primer año	2.7 a	2.8 a	3.0 a
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Segundo año	2.6 a	2.9 a	3.2 b
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Tercer año	2.57 a	3.1 b	3.3 b
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Cuarto año	2.5 a	3.2 b	3.4 b
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> ) Quinto año	2.4 a	3.2 b	3.5 b
Promedios (t ha <sup>-1</sup> )	2.5 a	3.0 b	3.3 b

Valores con letras diferentes (entre los tratamientos de tráfico) denotan diferencias significativas para cada nivel de profundidad ( $P < 0.01$ ) Duncan's multiple range test

### CONCLUSIONES

Los rendimientos del maíz varían año tras año, en respuesta a la compactación subsuperficial provocada por el tráfico del equipo pesado (177,9 kN) sobre suelos arcillosos y limosos siendo el causante los cambios producidos en el sistema radicular del maíz

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASABE. (2013) EP542. Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer. St. Joseph, MI: ASABE.
- Botta, G.F., Tolón-Becerra, A., Rivero, D., Laureda, D., Ramírez-Román, M., Lastra Bravo, X., Agnes, D., Flores-Parra, I.M., Pelizzari, F., V. Martiren. (2016). Compactación produced

by combine harvest traffic: Effect on soil and soybean (*Glycine max l.*) yields under direct sowing in Argentinean Pampas. *European Journal of Agronomy*. 74, 155-163.

Botta, G.F., Tolón-Becerra, A., Lastra-Bravo, X., Hidalgo, R., Rivero, D., D. Agnes. (2015). Alternatives for handling rice (*oryza sativa L.*) straw to favor its decomposition in direct sowing systems and their incidence on soil compaction. *Geoderma*. 240, 213 - 222.

Canarache, A., Colibas, I., Colibas, M., Horobeanu, I., Patru, V., Simota, H., T. Trandafirescu. (1984). Effect of induced compaction by wheel traffic on soil physical properties and yield of maize in Romania. *Soil Till. Res.* 4 (2), 199 – 213.

Chamen, W.C.T. (2011). The effects of low and controlled traffic systems on soil physical properties, yields and the profitability of cereal crops on a range of soil types. PhD Thesis. School of Applied Sciences, Cranfield University, Bedfordshire, UK, pp. 290 Unpublished.

Soil Conservation Service. (1994). *Keys to Soil Taxonomy*, 6th edition. Soil Survey Staff, USDA, Washington DC, USA.

## **DISEÑO Y PRUEBA DE UNA MÁQUINA REBANADORA DE NOPAL FORRAJERO**

### **DESIGN AND TEST OF A FORAGE NOPAL SLICING MACHINE**

**Cruz Meza, Pedro, Miranda Romero, Luis Alberto y Bacilio González, Ana Jessica**

Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Km

38.5 carretera México-Texcoco. C.P. 56230. Tel (595) 9521500 ext. 5246. e-mail:

[pcruzmeza@yahoo.com.mx](mailto:pcruzmeza@yahoo.com.mx).

**RESUMEN:** El nopal está distribuido ampliamente en las regiones semiáridas en México, el cual se utiliza como cultivo y en forma silvestre. En las épocas de estiaje se utiliza también como forraje para el ganado. El objetivo del trabajo es diseñar y construir una máquina rebanadora de nopal forrajero para preparar dietas para conejos, en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. El diseño y la prueba se realizaron en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. La rebanadora consiste de dos dosificadores donde se colocan los cladodios verticalmente y a través de un disco en el fondo se cortan. El mecanismo de corte consiste de un disco con tres cuchillas de acero inoxidable 304 que operan a una velocidad de 42 rpm. La transmisión de la energía del motor de 0.5 hp se realiza por bandas en V y poleas. De las pruebas realizadas al prototipo el espesor de corte del nopal fue de aproximadamente 3 mm y una productividad de 64.43 kg h<sup>-1</sup> alimentando al equipo dos personas.

**Palabras clave:** rebanadora, diseño, nopal forraje, mecanización.

**ABSTRACT:** The nopal is widely distributed in the semi-arid regions of Mexico, where is used as a crop and wild forage. In the dry season it is also used as fodder for cattle. The objective of the work is to design and build a forage nopal slicing machine to prepare diets for rabbits, in the Department of Zootechnics of the Autonomous University of Chapingo. The design and testing were carried out in the Department of Agricultural Mechanical Engineering. The slicing machine consists of two feeders chute where the cladodes are placed vertically and through a cutter plate in the bottom they are cut. The cutting mechanism

consists of a disc with three 304 stainless steel blades that operate at a speed of 42 rpm. The power was transmitted from motor of 0.5 horse power to cutter plate shaft by means of a V belt and pulleys. From the tests carried out on the prototype, the thickness of the nopal cut was approximately 3 mm and a productivity of 64.43 kg h<sup>-1</sup> feeding the team two people.

**Keywords:** slicing machine, design, forage nopal, mechanization.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las actividades rurales más comunes entre los habitantes de la región semiárida de México. En los agostaderos la disponibilidad de forraje determina el sistema de manejo del ganado, debido a que este constituye la principal fuente de alimento para satisfacer la demanda nutrimental del ganado en sus distintas etapas productivas.

El nopal se ha introducido en diversas partes del mundo (Brasil, Sudáfrica, Marruecos, etc.), con el fin de utilizarlo como forraje estratégico para la dieta de los animales a lo largo de todo el año. En estos países existen plantaciones de nopal especializadas para la producción de forraje, destinando en algunos casos hasta el 20% de la superficie de los ranchos con este propósito (Luna y Urrutia, 2008). En contraste, en México el nopal silvestre se utiliza como forraje de recolección y de forma emergente, pero no se considera dentro de las estrategias nutricionales en los sistemas pecuarios de producción. En los agostaderos, en la época de sequía y obligados por la falta de forraje, el ganado consume el nopal con todo y espinas con mucho esfuerzo y daños en la boca. El método más sencillo de aprovechamiento utilizado por algunos productores es el chamuscado directo de la planta en pie. La forma idónea para eliminar las espinas es hacerlo una vez cortadas las pencas, de esta forma se evitan daños a la planta y se disminuye el desperdicio.

El tamaño del nopal picado depende del tipo de ganado para bovinos de 40 x 150mm, mientras que para cabras y borregos de 30 x 50 mm, el picado se puede realizar a mano o con una maquina picadora. Sin embargo, no hay en el mercado una picadora especial para nopal, por lo que es posible acondicionar las existentes (Luna y Urrutia, 2008). Una de las actividades más tediosas en todo el proceso de producción pecuario es el picado del cladodio, de aquí la importancia de tener una máquina capaz de rebanar el nopal en un tiempo menor

y con una calidad aceptable, en este caso para preparar las dietas para los conejos en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo, fue necesario realizar una exhausta revisión bibliográfica con el fin de conocer los prototipos existentes para desespinar nopal verdura.

**1) DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROTOTIPO.** El diseño conceptual se realizó utilizando la metodología de diseño de Pahl y Beitz (2005) y la metodología del QFD (Quality Function Deployment). El QFD es un método para transformar las demandas del usuario en calidad de diseño, desarrollar las funciones que forman la calidad y desplegar los métodos para lograr la calidad del diseño en subsistemas y componentes y, en última instancia, en elementos específicos del proceso de fabricación (Prashant *et al.*, 2014).

**1.1 Especificaciones del cliente.** Los requerimientos del cliente se determinaron mediante una encuesta al usuario y se traducen a requerimientos técnicos mensurables, con el fin de establecer las características del producto a diseñar.

**1.2 Búsqueda de soluciones.** A partir de las especificaciones del producto a desarrollar y el análisis, revelará los aspectos generales y los factores esenciales de la tarea a desarrollar.

**1.2.1 Establecimiento de la estructura de funciones.** El objetivo del *análisis funcional* es identificar las funciones o prestaciones que un sistema debe desempeñar para satisfacer el conjunto de especificaciones de diseño. Esta técnica permite elaborar un esquema de las funciones que realizará el sistema a diseñar, ordenada de forma jerárquica y lógica, para conseguir que el sistema se comporte según los objetivos para los que es concebido. Este esquema representa un modelo abstracto del sistema, en el que se muestran las actividades que el sistema realiza pero no cómo las realiza. El análisis funcional es una técnica que requiere un cierto dominio abstracto de las actividades del diseño para su aplicación de forma eficiente (García *et al.*, 2010).

**1.3 Búsqueda de alternativas.** Una vez conocida la estructura funcional del producto el siguiente paso será la búsqueda de principios de solución para cada una de las funciones que se han detectado deberá de realizar el producto. El objetivo de los cuadros morfológicos es

el de ampliar la búsqueda de soluciones para un problema de diseño combinando todas las posibles soluciones a sus funciones (García *et al.*, 2010).

**1.3.1 Conformación de variantes de concepto.** Una vez establecidos los principios de solución se realizan las diferentes combinaciones de las variantes de concepto,

**1.4 Evaluación de las variantes de concepto.** Una vez que se ha creado una serie de diseños alternativos, el diseñador enfrenta el problema de seleccionar el mejor. La elección puede hacerse en base a conjeturas, intuición, experiencia, o tomando una decisión arbitraria. Sin embargo, es mejor si la elección se hace mediante un procedimiento más lógico, o por menos abierto.

## 2) DISEÑO DE DETALLE

**2.1 Potencia requerida del motor.** Para el cálculo de la energía necesaria para mover el mecanismo de corte del equipo se asume una masa del disco de 5 kg, la masa de las tres cuchillas de 1 kg y la masa del nopal de 4 kg. Por lo tanto el peso total en la flecha es de 10 kg. La frecuencia de rotación del disco de corte se obtuvo en base al rebanado de otros cultivos como el plátano (Sonawane *et al.*, 2011). En este caso para la rebañadora se propuso de 42 rpm. La ecuación del cálculo de la potencia del motor es.

$$N = \frac{T \cdot \omega}{\eta} \quad (1)$$

donde: N- potencia del motor, W; T- torque, Nm;  $\omega$ - frecuencia angular,  $s^{-1}$ ;  $\eta$ - eficiencia mecánica, adim; se toma de 0.6 a 0.8. El torque necesario para mover la carga es (Lende y Chandak, 2012):

$$T = m \cdot g \cdot \frac{D}{2} \quad (2)$$

Donde: m- masa total del material a mover, kgf; g- fuerza de gravedad,  $ms^{-2}$ ; D- diámetro del disco con las cuchillas, m; se toma de 0.61 m. La velocidad angular de la flecha del disco de corte se determina así:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (3)$$

Donde: n- velocidad del disco, rpm,

**3) CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.** El equipo se construyó utilizando los procesos de manufactura convencionales que se dispone en los Talleres del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, como el caso del corte utilizando cizallas mecánicas, disco de corte y oxicorte. Las piezas se unieron mediante soldadura de micro alambre. Además se utilizó el maquinado convencional para el careado y cilindrado de las flechas. Los principales materiales que se utilizaron fueron PTR de 38 x 38 mm calibre 14, placa de 9.5 mm de espesor, lámina calibre 14, acero trabajado en frío 1018 de 25 mm de diámetro, entre otros.

**4) PRUEBA O ENSAYO DEL PROTOTIPO.** El material para las pruebas fue colectado en la Nopalera del Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, de la variedad Copena, en el mes de octubre del 2017. Las pruebas del prototipo se realizaron pesando los cladodios con una báscula marca Ohaus modelo Explorer de 4 200 g de capacidad, con un valor de precisión de 0.01 g y cronometrando el tiempo de picado utilizando dos personas para alimentar el equipo. Se realizaron 5 y 6 repeticiones durante cuatro días, en función de la cantidad de material colectado, un día anterior. El tamaño del picado se midió mediante un vernier digital marca Mitutoyo, tomando tres muestras aleatorias por día.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Diseño conceptual.** En el cuadro 1 se muestran los requerimientos obligatorios y deseables de la rebañadora de nopal forrajero.

En la figura 1 se muestra la función principal y las sub-funciones que deberá de realizar la rebañadora de nopal.

En el cuadro 2 se muestran las posibles soluciones para realizar las sub-funciones de la figura 1.

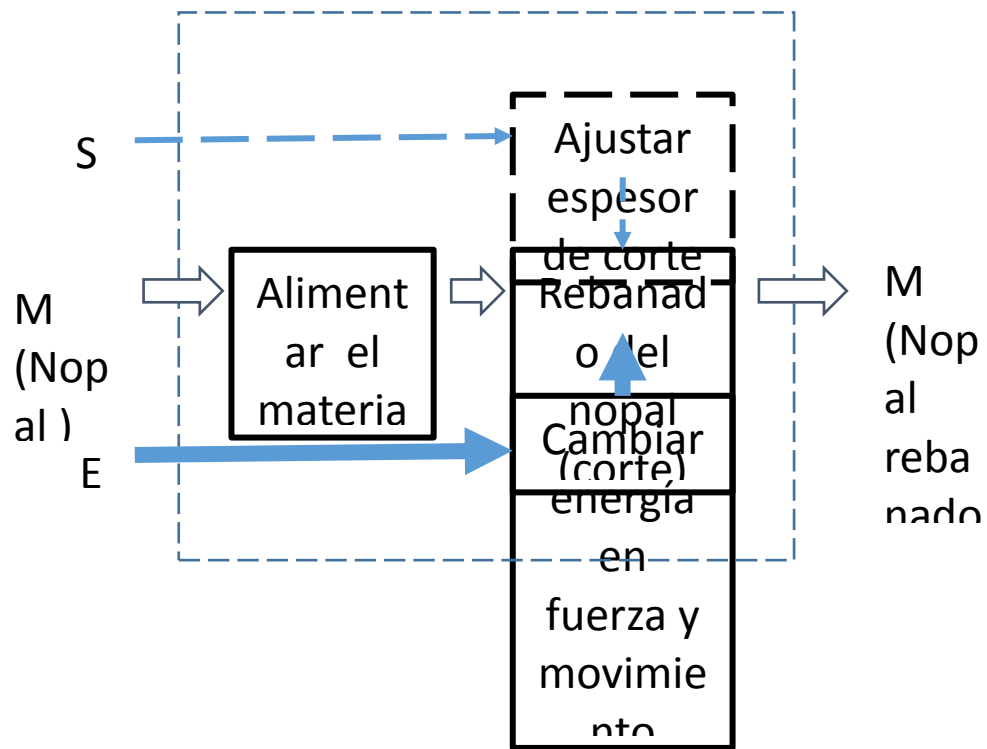


Figura 1. Sub-funciones de la rebañadora de nopal forrajero. Donde: S-senal, M- material y E-energía.



Cuadro 1. Requerimientos obligatorios o demandas (D) y deseables (W).

D ó W	Requerimientos
<b>Composición y requisitos</b>	
D	Máquina estacionaria
D	Altura: 1.2 m
D	Longitud: 0.85 m
D	Anchura: 0.61 m
<b>Parámetros técnicos</b>	
D	Productividad: 50 kgh <sup>-1</sup>
D	Fuente energética: motor eléctrico de 0.5 hp
<b>Requerimientos tecnológicos</b>	
D	Espesor del rebanado: 3 mm
W	Ancho del cladodio: 300 mm
W	Espesor del cladodio: 20 mm
<b>Condiciones de explotación</b>	
D	Calidad de preparación: cladodios con espinas
<b>Índices económicos</b>	
W	Precio límite: \$10 000.00 M.N.

Las variantes de concepto establecidas se muestran en el cuadro 2: A1-A2-A3-A4, B1-B2-B3-B4, C1-C2-C3-C4 y B1-D2-B3-A4. Las diferentes variantes se evaluaron en base a criterios técnicos y económicos, seleccionándose la opción A1-A2-A3-A4.

**Diseño de detalle.** Al sustituir valores en las ecuaciones (1) a (3), arroja los valores de  $\omega = 4.4 \text{ s}^{-1}$ ,  $T = 30 \text{ Nm}$  y  $N = 188.57 \text{ W}$  (0.25 hp), por lo que se selecciona un motor eléctrico de 0.5 hp a 1740 rpm de la marca Siemens.

Cuadro 2. Variantes de concepto.

No	Sub-función	Principio de solución			
		A	B	C	D
1	Alimentar el material	Manual	Rodillos alimentadores	Banda plana y rodillo	
2	Rebanado (corte)	Disco con cuchillas rectas	Disco con cuchillas curvas	Chorro de agua	Tambor con cuchillas y contra-cuchilla
3	Accionar el sistema	Motor eléctrico	Motor de combustión interna	Motor hidráulico	
4	Almacenar el material	Granel	Bolsas	Rejas	

**Construcción del prototipo.** El prototipo construido fue de 635 x635 mm de longitud y anchura respectivamente. La altura fue de 1.2 m. Las tres cuchillas se fabricaron de acero inoxidable 304. El disco sobre los que se montaron las cuchillas fue de 356 mm de diámetro. La reducción de la velocidad del motor a la flecha del disco de corte se realizó mediante poleas y bandas, con una relación de 40:1. El disco y la transmisión se protegieron con lámina calibre 14 para evitar posibles accidentes del operador. El equipo puede ser alimentado por dos personas ya que cuenta con dos depósitos para colocar verticalmente el cladodio de nopal.

**Prueba del prototipo.** En el cuadro 3, se muestra la productividad registrada, al realizar las pruebas por cuatro días en las instalaciones del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. La variedad utilizada fue la Copena Así mismo se realizaron muestreos del material picado y en promedio este fue de 3 mm.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto se desarrolló en base a la investigación bibliográfica previa y al estudio de usuarios. El estudio bibliográfico se llevó a cabo en base a las patentes existentes en cuanto a máquinas rebañadoras de nopal, y además se observó la dificultad para realizar dicha actividad en el campo. Mediante la técnica del QFD y las especificaciones del diseño del producto se generaron los conceptos.

Cuadro 3. Productividad de la máquina picadora de nopal.

Día	Repetición	PESO	TIEMPO	Productividad	Productividad
		INICIAL, kg	PICAR, min	kg/min	kg/h
1	A1	40.2	47.57	1.21	72.53
	A2	40	32.57		
	A3	40.27	31.5		
	A4	40.43	29.26		
	A5	41.145	26.28		
	A6	65.5	54.15		
2	B1	40	43	1.10	66.00
	B2	40	41		
	B3	40	34		
	B4	40	31		
	B5	40	34		
	B6	20	17		
	C1	43	60	0.63	37.58

	C2	49.61	72		
3	C3	48.3	74		
	C4	21.895	39		
	C5	20.69	48		
	D1	40.84	34	1.36	81.60
	D2	41.44	23		
4	D3	41.375	26		
	D4	47.375	30		
	D5	61.5	41		
	D6	15	28		
	<b>Promedio</b>			1.07	64.43

El concepto final se selecciona considerando el entorno y el método operativo de los usuario, es decir por los pequeños productores de nopal forrajero. Teniendo en cuenta la capacidad de compra del usuario, se fabricó un producto a escala. El prototipo se probó en campo con una productividad de 64.43 kgh<sup>-1</sup> y un tamaño del picado de 3mm en promedio.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pahl, G. & W. Beitz. (2005). *Engineering design*. Ed. Springer-Verlog. New York, USA.
- Prashant, Y., Gopinath, C. & Ravichandran, V. (2014). Design and development of coconut fiber extraction machine. *SASTECH Journal* 13(1), 64-72.
- Sonawane, S.P., Sharma, G. P. & Pandya, A.C. (2011). Design and development of power operated banana slicer for small scale food processing industries. *Res. Agr. Eng.* 57(4), 144–152

Lende, A. R. & Chandak, P.A.. (2012). Design and fabrication of tamarind cover and seed separation machine. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*

1(2), 154-160.

Luna- Vazquez, J. y Urrutia-Morales, J. (2008). Nopal para forraje en el altiplano potosino. Folleto para productores No 49. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

## PRUEBAS DE CAMPO EN LA COSECHA MECANIZADA DE AGAVE

### FIELD TESTS IN THE MECHANIZED HARVEST OF AGAVE

César Gutiérrez Vaca<sup>1\*</sup>, Noé Saldaña Robles<sup>1</sup>, Adriana Saldaña Robles<sup>1</sup>, Alberto Saldaña Robles<sup>1</sup>, Adrián Flores Ortega<sup>1</sup>, Alfredo Márquez Herrera<sup>1</sup>, Jonathan Cepeda-Negrete<sup>1</sup>, Israel Enrique Herrera Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato – Silao km 9. Irapuato Guanajuato. \*Doctor en Mecanización y Tecnología Agraria, autor para correspondencia: [cesarg@ugto.mx](mailto:cesarg@ugto.mx)

### RESUMEN

Con el prototipo de máquina cosechadora troceadora de agave construido por el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Guanajuato se realizaron pruebas de cosecha mecanizada en campos de Agave en el Estado de Jalisco en México. Lo anterior, con apoyo de la empresa Tequilera Sauza y del distribuidor de maquinaria Agrícola John Deere de la ciudad de Arandas Jalisco, interesados en el desempeño en campo de la cosechadora troceadora de agave. Una primera prueba se realizó en la ciudad de Amatitán, Estado de Jalisco, donde se utilizó un tractor agrícola John Deere modelo 6405 que cuenta con el sistema de velocidades ultracortas (*creeper*) lo que permitió lograr el avance requerido por la cosechadora de 0.2 km/h. Dicho tractor cuenta con una potencia de 90 h.p. y 540 r.p.m. a la toma de fuerza que fueron insuficientes para proporcionar la velocidad angular de 1000 r.p.m. requeridas por los molinos del cabezal de troceado. Una segunda prueba se realizó en la ciudad de Arandas, Estado de Jalisco, donde se empleó un tractor John Deere modelo 6603 con potencia de 105 h. p. a la toma de fuerza. Dicha potencia permitió alcanzar una velocidad angular de 600 r.p.m. en los molinos de troceado que aunque no alcanzó la velocidad recomendada permitió cosechar agave con un tamaño de partícula similar al que se trocean las piñas de agave en la industria tequilera. Debido a que el tractor utilizado en la segunda prueba no contaba con la transmisión *creeper*, no se obtuvo la velocidad de avance recomendada lo que provocó daños en el cabezal de troceado, sin embargo se logró efectuar la cosecha de agave de al menos una planta. Ambos ensayos permitieron detectar elementos que deben ser reforzados y mecanismos que deben ser agregados para poder trasladar y operar la cosechadora de mejor manera. Dos factores son determinantes para el correcto

desempeño de la cosechadora; velocidad de avance, del conjunto tractor-cosechadora, y velocidad angular de los molinos de corte; 0.2 km/h y 1000 r.p.m., respectivamente, mientras esos parámetros no se cumplan la cosecha de agave, con el prototipo de cosechadora de agave desarrollado, será deficiente.

**Palabras clave:** prototipo, cosechadora, troceado, biocombustible.

### ABSTRACT

With the prototype agave chopper harvesting machine built by the Department of Agricultural Engineering of the University of Guanajuato, mechanical harvesting tests were carried out in Agave fields in the State of Jalisco, Mexico. This was supported by Tequilera Sauza and the John Deere Agricultural Machinery Distributor in the city of Arandas, Jalisco, interested in the field performance of agave chopper harvester. A first test was carried out in the city of Amatitán, Jalisco, using a tractor John Deere model 6405 that has the system of ultra-short speeds (creeper) which allowed achieve the advance required by the harvester of 0.2 km / h. This tractor has a power of 90 h.p. and 540 r.p.m. to power take off (PTO) that were insufficient to reach the angular velocity of 1000 r.p.m., required by the mills of the chopping head. A second stage of tests was carried out in the Arandas city, Jalisco, where a John Deere model 6603 tractor with a power of 105 h.p., at PTO was used. This power allowed an angular velocity of 600 r.p.m., in the grinding mills, that although it did not reach the recommended speed allowed to harvest agave with a particle size similar to the one that the agave core is chopped in the tequila industry. Due to the fact that the tractor used in the second test did not have the creeper transmission, the recommended speed was not obtained, which caused damage to the chopping head, nevertheless it was possible to carry out the agave harvest of at least a plant. Both tests allowed detect elements that must be reinforced and mechanisms that must be added in order to be able to move and operate the harvester in a better way. Two factors are decisive for the correct performance of the harvester; forward speed, of the tractor-harvester assembly, and angular speed of the chopping mills; 0.2 km / h and 1000 r.p.m., respectively, while those parameters are not fulfilled the agave harvest, with the prototype agave harvester developed, will be deficient.

**Key words:** prototype, harvester, chopping, biofuel.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se está en la búsqueda de alternativas al combustible de origen fósil, no solo en México sino en otros países como Australia (Holtum J. et. al, 2011), por mencionar alguno. De entre ellos quienes más destacan en investigación, desarrollo, y transferencia de tecnología relativa a biocombustibles son; Estados Unidos de Norte América y Brasil, con los cultivos de maíz y caña de azúcar, respectivamente. Brasil destaca, a saber, por las leyes que obligan a los usuarios de vehículos de motor a mezclar un porcentaje de biocombustible con el combustible convencional, hecho significativo que le ha llevado a alcanzar niveles importantes en el uso de energía renovable. En México las leyes relativas al abasto de energía renovable están en gestión sin que por el momento haya algo definitivo que se pueda aplicar como norma en lo general. Honty y Gudynas (2008), citados por Sierra L. (2011), mencionan que México al día de hoy es deficitario en cuanto al uso de energía renovable pues importa dos veces más de la que produce. Aún con ello el porcentaje de consumo respecto del total mundial es tan solo de 0.1% (Saldaña N. et al., 2012). González G. (2008) hace un estudio acerca de la producción de bioetanol a partir del cultivo de Agave con el propósito de buscar una fuente distinta al maíz, pues éste último pondría en riesgo la seguridad alimentaria ya que al día de hoy México es también deficitario en el consumo de dicho grano, y llega a determinar que es una buena opción ya que se pueden alcanzar los niveles de rendimiento de la caña de azúcar. Lo anterior coincide de alguna forma con los posteriores estudios de Cáceres M. et al., (2009), Holtum J. et al., (2011), y Davis S. et al., (2011). Sin embargo los precios de producción de un litro de etanol a partir de planta de agave rondan los USD \$3.5 (Núñez H. et al., 2011), altos comparados con USD\$1 L<sup>-1</sup> a partir de caña de azúcar o de maíz. Holtum J. et al., (2011) y Núñez H. et al., (2011) recomiendan que para abatir los costos de producción es necesario mecanizar el sistema de cosecha, entre otras ideas, pues es el segundo costo más importante a lo largo de los siete años, en promedio, que tarda en madurar la planta.



La industrialización del agave no se limita al área de bebidas, pues en el área de alimentos existen mieles y jarabes procesados de esa planta. También se pueden fabricar pellets, a partir del bagazo resultante del proceso de extracción de azúcares de la piña de la planta, cuyo uso es obtención de energía por combustión, aunque no es una actividad común en México. Además cierto tipo de agave llamado Henequén se utilizó por muchos años para la obtención de fibras de uso textil, sobre todo en el sureste de México, labor que ha venido a menos por el uso de fibras sintéticas. Las bebidas, mieles y jarabes se producen a partir de la piña, los pellets del material restante, y las fibras a partir de las hojas, principalmente. Cuando el agave se destina a la producción de tequila al momento de la cosecha las hojas son cortadas y separadas para extraer la piña y dejadas en el suelo para su reincorporación, en el mejor de los casos, pero en la mayoría son llevadas a la orilla del campo de producción e incineradas. Con ello se pierden los azúcares contenidos en las hojas que pueden alcanzar hasta el 10% del total de la planta (Whitney K. et al., 2002). Cabe mencionar que la incorporación de las hojas al proceso de producción de tequila agrega el sabor de la clorofila por lo que se prescinde de ellas. Sin embargo, sí el destino de la planta es la producción de biocombustible la incorporación de las hojas es conveniente, pues las hojas pueden representar el 50% del peso total de la planta (Saldaña A. et al., 2012) y en cada hectárea son toneladas de hojas no utilizadas.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

En un primer acercamiento, de los representantes del área agrícola de la Empresa Tequilera Sauza, al Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Guanajuato se les explicó el concepto de trabajo de la cosechadora troceadora de agave (Fig. 1) y de las posibles restricciones en cuanto a que el prototipo de la cosechadora trocea tanto hojas como piña en un solo paso y quizá la incorporación de hojas les generaría problemas de contaminar el jugo de agave. Para evitar lo anterior la empresa ha considerado realizar un paso previo a la cosecha de la piña; cortar la mayor cantidad de hojas de manera mecánica, tal y como lo hace hoy un *Jimador* en campo. Posterior a esa labor entrar con la máquina propuesta y realizar la cosecha.

Se realizó el traslado de la cosechadora de agave a la ciudad de Tequila, Estado de Jalisco, para realizar la prueba en los campos de agave pertenecientes a la empresa Sauza. Se eligió un predio en el municipio de Amatitán cercano a la planta de procesamiento. El ensayo se realizó el día 28 de abril de 2017 con la presencia de los encargados del área agrícola y planta de procesamiento. Se utilizó un tractor marca John Deere “Iodero” de la serie 6000 (Fig. 2) con velocidades ultracortas (creeper), que son suficientes de acuerdo a las recomendaciones de avance para realizar una cosecha efectiva sin generar daños a la máquina; 0.2 km/h (Saldaña A. 2011). La potencia disponible a la toma de fuerza (TDF) es de 60 h.p., lo cual no es suficiente de acuerdo a la potencia de 156 h.p. requerida por la cosechadora (Serwatowski *et al.* 2014), pero que aun así y dadas las complicaciones logísticas involucradas, la prueba fue realizada.

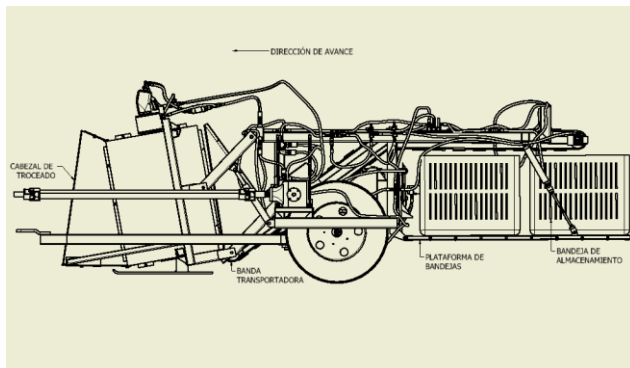


Figura 1. Vista lateral de la cosechadora troceadora de agave.



Figura 2. Maniobras previas a la cosecha de agave, primera prueba de campo.

En una hilera de plantas de agave, con la madurez suficiente para ser cosechadas, se eligió la primera planta de la hilera, para poder acceder con el tractor que jala a la cosechadora de manera que pueda iniciar la cosecha en la posición adecuada. Previo al inicio de la prueba se acondicionó la planta cortando con una COA (herramienta para realizar la jima) las hojas alrededor de la piña de forma que se cosechara solo ésta última. Se encendió el tractor, manteniéndolo a 2,000 r.p.m. y se activó la toma de fuerza para suministrar potencia a los molinos del cabezal de corte. Una vez que los molinos giraron a velocidad constante y se revisó que no había fallos en los mecanismos de la cosechadora se inició la cosecha.

Luego de los resultados de esa primera prueba se realizó una segunda prueba en la ciudad de Arandas Jalisco a donde fue trasladada la cosechadora. Para llevar a cabo el ensayo se recibió el apoyo de la empresa John Deere de Arandas Jalisco proveyendo un predio con planta de agave, cercano a las instalaciones de la distribuidora, así como un tractor agrícola marca John Deere 6603 (Fig. 3), con potencia a la TDF de 105 h.p., que se acerca más a los 156 h.p. de potencia requeridos por la cosechadora de agave. Sin embargo la transmisión del tractor no contaba con velocidades ultracortas (creeper) por lo que en su lugar se utilizó el embrague del tractor con el propósito de reducir la velocidad de avance a la recomendada para la cosecha.



Figura 3. Maniobras previas a la cosecha de agave, segunda prueba de campo.

De manera similar que en el ensayo anterior se eligió una hilera de plantas con madurez suficiente para ser cosechadas y se acondicionó la primera de la fila cortando las hojas alrededor de la piña, de forma manual utilizando la COA por un operario de campo. Se encendió el tractor, manteniéndolo a 2,000 r.p.m. y se activó la toma de fuerza para suministrar potencia a los molinos del cabezal de corte. Una vez que los molinos giraron a velocidad constante y se revisó que no había fallas en los mecanismos de la cosechadora se inició la cosecha.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la primera prueba realizada en la ciudad de Amatitán, Estado de Jalisco, no fue posible estabilizar el funcionamiento de los molinos de troceado pues el caudal hidráulico suministrado por la bomba de la cosechadora era insuficiente y tuvo que ver con un factor

principalmente; la potencia transferida por el tractor. Los requerimientos de potencia del tractor fueron establecidos en 156 h.p. a la TDF con una velocidad de giro de 1,000 r.p.m., que al pasar por la transmisión de la cosechadora se multiplican a 2,000 r.p.m., proporcionando así la presión adecuada de 3000 PSI al sistema y caudal de 210 L/min. Dichos requerimientos no fueron satisfechos y la prueba, propiamente dicha, no pudo ser llevada a cabo, sin embargo se pudieron apreciar algunos detalles importantes: la significativa cantidad de hojas en la base de la planta de agave que pueden generar atascos y complicar el avance de la cosechadora; piedras de tamaño entre 1 y 2 pulgadas de diámetro y que una de ellas se incrustó entre el rodillo motriz y la cinta de la banda transportadora lo que atascó e imposibilitó su movimiento: las maniobras para colocar en posición de trabajo el cabezal de troceado y la transmisión de la cosechadora demandan un tiempo y esfuerzo significativo que deberá ser analizado para proponer una solución.

En la segunda prueba realizada en la ciudad de Arandas, Estado de Jalisco, los molinos de troceado funcionaron con velocidad aproximada de 500 r.p.m., que si bien aún está lejana a las 1,000 r.p.m., recomendadas para el correcto troceado, se logró que ambos molinos giraran de manera uniforme. Una vez estabilizada la máquina y revisando que no hubiese fallos se inició la cosecha de la planta de agave. Como se indicó en los materiales y métodos se pidió al operador del tractor utilizar el embrague del motor para reducir la velocidad de avance de la cosechadora, acción que no fue efectiva pues al momento de que los molinos llegaron a la piña del agave y se requirió más potencia el tractorista soltó el embrague para liberar potencia pero originó también aumentar la velocidad de avance que se tradujo en el daño por colisión de las guardas del cabezal de troceado así como algunos elemento de soporte de las cuchillas de corte contra la propia planta de agave, por lo que la prueba tuvo que ser finalizada. En la figura 4 se aprecia el material vegetal cosechado hasta ese momento, parte de ese material tiene las dimensiones adecuadas requeridas en la siguiente etapa del proceso en la industria del tequila. En la figura 5 se muestra hasta qué punto fue posible cosechar la planta de agave antes de los daños ocurridos y en la misma imagen, pero con menos claridad, el desprendimiento por colisión de la base de la planta por la acción de avance repentino al

liberar el embrague del motor. La piña de agave exhibe una dureza importante que debe ser considerada, será necesario hacer las reparaciones respectivas y reforzar los elementos del cabezal de troceado sobre todo aquellos que estarán en contacto con la parte inferior de la planta y la piña, pues deberán tener una dureza suficiente para resistir las colisiones con la planta.



Figura 4. Material vegetal de agave cosechado



Figura 5. Planta de agave cosechada de manera parcial

## CONCLUSIONES

De las pruebas de campo realizadas se ha obtenido información valiosa que permitirá mejorar el prototipo de la cosechadora troceadora de agave. La máquina requerirá como fuente de potencia un tractor de gama alta que proporcione la potencia, que de manera teórica en el diseño fue estimada y en estas pruebas se confirma, cercana a los 156 h.p. y que cuente además con una transmisión que le permita velocidades bajas (creeper), menor potencia generará un desempeño no satisfactorio en el nivel de troceado de la planta de agave y velocidades superiores a las recomendadas provocarán daños significativos a la máquina al igual que un nivel de troceado no adecuado.

Deberán realizarse las reparaciones y adecuaciones al prototipo que permitan realizar nuevamente ensayos antes de considerarse como un prototipo que dé lugar a una versión comercial. Sin embargo las pruebas de campo aquí descritas confirman el concepto propuesto



y la viabilidad de la cosechadora troceadora de agave para ser utilizada en los campos agaveros de la industria tequilera.

### LITERATURA CITADA

Cáceres-Farfán. M., Lappe-Oliveira, P., Larqué-Saavedra, A., Magdub-Méndez, A., Barahona Pérez, L. (2009). “Producción de etanol a partir de jugo de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) y melaza utilizando una mezcla de levaduras”. XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. VII Simposio Internacional de producción de alcoholes y levaduras. \*Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 21 al 25 de junio, Acapulco Guerrero.

Davis, S. C., Dohleman, F. G., Long, S. P. (2011). The global potential for Agave as a biofuel feedstock. *GCB Bioenergy* vol. 3, 68–78, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01077.x

González -Pérez. G. (2008). Producción potencial de bioetanol a partir de pencas de diferentes especies de agave en el estado de Guanajuato. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad de Guanajuato.

Gutierrez-Vaca, C., Serwatowski, R., Cabrera-Sixto, J. M., Flores-Ortega, A., García-Barrón, S., Saldaña-Robles, A.L., Saldaña-Robles, A., Saldaña-Robles, N. Pruebas del prototipo de una cosechadora troceadora de agave. XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 23 al 27 de mayo 2016. Bogotá Colombia. ISBN; 978-958-57102-6-9

Holtum, J. A. M ., Chambers, D., Morgan, T., Tan, D. K . Y. (2011). Agave as a biofuel feedstock in Australia. *GCB Bioenergy* vol. 3, 58–67, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01083.x

Honty G., Gudynas E. (2008). Agrocombustibles y Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe. IV Congreso Regional de Ingeniería química. Montevideo, Uruguay. 5 al 7 de junio 2008.

Núñez, H.M., Rodríguez, L.F., Khanna M (2011). Agave for tequila and biofuels: an economic assessment and potential opportunities. GCB Bioenergy vol. 3, 43–57, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01084.x

Saldaña-Robles, A. (2011). Diseño de equipo para corte y troceado de la planta de Agave. Tesis de Maestría. División de Ciencias de la Vida. Universidad de Guanajuato.

Saldaña-Robles, A., Serwatowski, R., Saldaña-Robles, N., Gutiérrez-Vaca, C., Cabrera-Sixto, J. M., Flores-Ortega, A., Quiroz-Ramírez, J. C., García-Barrón, S., Juárez-Guaní, J. A. Determinación de algunas propiedades físicas de la planta de Agave tequilana Weber. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol.3, Núm.2, 1 de marzo - 30 de abril, 2012 p. 451-465

Saldaña-Robles, N., Gutiérrez-Vaca, C., Serwatowski, R., Saldaña-Robles, A., Flores-Ortega, A., Quiroz-Ramírez, J. C., Cabrera-Sixto, J. M., García-Barrón, S., Juárez-Guaní, J. A. (2011). Cosecha mecanizada del Agave Tequilana Weber para la producción de bioetanol. Revista Acta Universitaria. Vol. 22 N. 2 Febrero-Marzo 2012. Universidad de Guanajuato.

Serwatowski R., Gutiérrez-Vaca, C., Flores-Ortega, A., García-Barrón, S., Saldaña-Robles, N., Saldaña-Robles, A.L., Alatorre- Bravo P.A. Diseño y construcción de un sistema hidráulico de accionamiento. XI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Cancún, Quintana Roo, México, 6 al 10 de octubre de 2014.

Sierra-Sierra, L. (2011). Estudio y diseño del mecanismo desfibrador de una cosechadora trituradora de agave. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Agrícola. Universidad de Guanajuato.

Whitney G.K., Lioutas T.S., Henderson L.W., Combs L. (2002). Production for tequila. US Patent Application Publication. 2002/0119217. August 29.

## **LAS PÉRDIDAS POR ESFUERZO DE RODADURA EN SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA**

### **LOSSES BY MOTION RESISTANCE EFFORT IN SOILS UNDER NO TILLAGE CROPPING**

**Guido Fernando Botta:** <sup>(1)</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía  
Cátedra de Maquinaria Agrícola. Buenos Aires, Argentina. <sup>(2)</sup> Universidad Nacional  
de La Pampa, Facultad de Agronomía Cátedra de Maquinaria Agrícola. Santa Rosa,  
La Pampa, Argentina. Email: [gfbotta@agro.uba.ar](mailto:gfbotta@agro.uba.ar)

**Ezequiel R. David Rivero** <sup>(3)</sup> Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de  
Agronomía Cátedra de Maquinaria Agrícola. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.  
Email: [davidrivero79@hotmail.com](mailto:davidrivero79@hotmail.com)

**Gustavo Fabian Nardon:** <sup>(1)</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía  
Cátedra de Maquinaria Agrícola. Buenos Aires, Argentina. Email:  
[gnardon@gmail.com](mailto:gnardon@gmail.com)

**Diego Wilfredo Agnes:** <sup>(1)</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía  
Cátedra de Maquinaria Agrícola. Buenos Aires, Argentina. Email:  
[agnes@agro.uba.ar](mailto:agnes@agro.uba.ar)

**Enrique Ernesto Contessotto** <sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Luján Departamento de  
Tecnología, Argentina Email: [jenrique22@hotmail.com](mailto:jenrique22@hotmail.com)

**Silverio Juan Barneto** <sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Luján Departamento de Tecnología,  
Argentina Email: [sjbarneto@yahoo.com.ar](mailto:sjbarneto@yahoo.com.ar)

**Juan Manuel Ressia** <sup>(4)</sup> Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos  
Aires Cátedra de Maquinaria Agrícola. Azul, Argentina Email:  
[jmressia@faa.unicen.edu.ar](mailto:jmressia@faa.unicen.edu.ar)

**Diego Ghelfi** <sup>(2)</sup> Universidad Nacional de Luján Departamento de Tecnología,  
Argentina Email: [diego\\_ghelfi@hotmail.com](mailto:diego_ghelfi@hotmail.com)

### **RESUMEN**

La función de cualquier tractor agrícola es proporcionar movilidad para sí mismo y para traccionar un implemento. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dos tractores (FWA y 4WD) con diferentes tamaños de neumáticos y cargas axiales sobre la resistencia al movimiento (MR) y sobre el índice del cono (CI) en un suelo Haplustol entico (Soil



Taxonomy, 2014) trabajado durante 15 años bajo un sistema de cultivo de siembra directa. Los resultados principales fueron: las mayores profundidades de huellas fueron producidas por el tractor de diseño 4WD mientras que, contrariamente a esto su pérdida de potencia por esfuerzo de rodadura fue inferior a las del tractor 2WD. La conclusión principal de este trabajo fue que, a pesar de la alta capacidad portante del suelo trabajado en forma continua bajo siembra directa las pérdidas por esfuerzo de rodaduras de ambos tractores produjeron reducciones considerables en la potencia disponibles en la barra de tiro.

**Palabras claves:** capacidad portante, tracción, terramecanica

### ABSTRACT

The function of any agricultural tractor is to provide mobility for itself and to power an implement. The aim of this paper was to assess the impact of two tractors (FWA y 4WD) with different tyre sizes and axle loads on motion resistance (MR) and on the cone index (CI) at the Entic Haplustolls (Soil Taxonomy, 2014) and cropped during 15 years under no tillage cropping system. The principal results were: 4WD tractor caused higher ruth deep values than the FWA whereas, contrary to this, their power loss due to MR effort was lower than that of the 2WD tractor. The main conclusion of this work was that, despite the high bearing capacity of the soil worked continuously under no tillage cropping system, the losses due to MR effort of both tractors produced considerable reductions in the drawbar pull.

**Key words:** soil bearing capacity, traction, terramechanic

### INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años se han ido incorporando en forma creciente al mercado como nueva opción los tractores articulados (4WD) y de tracción delantera asistida (FWA). La función del tractor agrícola no termina en el autotransporte, si no que, como tarea normal, se requiere que además traccione con algún apero. En el autotransporte del tractor se producen tres tipos de pérdidas: pérdidas de transmisión, pérdidas por rodadura y pérdidas por patinamiento. Sobre las primeras pérdidas la injerencia del operador es casi nula, solo bastará con un buen

mantenimiento según el manual del operador para evitar que éstas se incrementen, sin embargo, sobre las restantes es mucho lo que se puede hacer (Botta et al, 2012).

La energía introducida en el sistema por la circulación de la rueda produce cambios en las propiedades estructurales que influyen los contenidos de aire y agua así como la facilidad en que éstos y los nutrientes están disponibles para las plantas (Soane, 1982). El esfuerzo de rodadura está conformado principalmente por la energía utilizada para la formación de una huella al deformarse el suelo, al empuje de la tierra y a la deformación del rodado mismo. La resistencia a la rodadura se incrementa debido a que en esta condición el suelo no puede proveer demasiado soporte al neumático, de esta manera éste producirá el hundimiento y la deformación del suelo (Perdock et al., 1990).

Wood y Burt (1987) definen al esfuerzo de rodadura como la suma de las componentes horizontales de las tensiones normales al neumático. Los mismos autores, en un ensayo realizado en canales edafométricos con cubiertas 18.4 – 34 en suelos firmes y arados, utilizando cargas dinámicas de 10 y 20 kN y presiones de inflado de 110 y 140 kPa, demuestran que la presión de inflado controla la magnitud de las componentes horizontales en el centro del área de contacto rueda/suelo y el peso dinámico en el borde del área de contacto. Al mismo tiempo determinaron que el esfuerzo de rodadura es mayor en el suelo arado, ya que en éste el hundimiento fue tal que el espacio entre tacos contribuyó a aumentar las componentes horizontales de las fuerzas normales. La formación de una huella como fuente del incremento del esfuerzo para trasladarse en suelo blando, ha sido estudiada desde principio de este siglo. Sin embargo, en la región pampera de Argentina, un sistema de trabajo del suelo ha crecido sostenidamente los últimos 25 años, es el sistema de siembra directa, basado en la agricultura sin remoción del suelo siendo trabajadas actualmente más de 25 millones de hectáreas de esa manera. Dentro de este paisaje con suelos con alta capacidad de portante predomina el uso de 2 diseños básicos de tractores los FWA y los 4WD siendo muy pocos los datos sobre el esfuerzo de rodadura en suelos, los objetivos del presente trabajo son: a) estudiar el esfuerzo de rodadura en tractores FWA y 4WD sobre un suelo bajo siembra directa y b) proponer cambios que tengan posibilidad cierta de ser tomados en cuenta por fabricantes y usuarios para dicha pérdida, que ocasiona elevado consumo de combustible.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en un lote del establecimiento ubicado en el Partido de Luján, Argentina, sobre un Argiudol típico, fino, illítico, térmica (Soil Taxonomy 1994) perteneciente a la serie Mercedes, localizado a 34° 32' Sur, 59° 07' Oeste, a una altitud de 14,8 m sobre el nivel del mar, en la región Pampeana. El contenido de agua al momento del tráfico, entre 0 – 200 mm de profundidad y para las condiciones de suelo traficada fue de 24%. La historia previa del lote: fue de 20 años trabajado bajo la técnica de siembra directa.

Los tractores utilizados en el ensayo de campo tuvieron todas sus características básicas de diseño respondiendo al carácter modal del actual mercado argentino (Tabla 1). Las presiones de inflado de los neumáticos y el lastrado de los tractores no se modificaron para el ensayo, asumiendo que los mismos están listos para trabajos con aperos que demandan elevados esfuerzos de tracción. Antes del ensayo se llevaron dos de los mismos a balanza pública obteniendo sus pesos totales y sus pesos por cada uno de sus ejes, siendo. Las características de cada tractor se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1. Tractores utilizados en el ensayo y sus características**

TRACTOR	2WD	(FWA) (T1)	4WD (T2)
Potencia	91 CV	140 CV	194 CV
Neumáticos delanteros	6 – 16	18.4 – 26	23.1 – 30
Neumáticos traseros	18.4 – 34	24.5 – 32	23.1 – 30
Radiales	No	No	no
Altura de tacos delanteros	---	40 mm	38 mm
Altura de tacos traseros	25 mm	50 mm	37 mm
Peso total	---	7.9 Kn	9.2 kN
Peso eje delantero	---	3.3 kN	4.9 kN
Peso eje trasero	---	4.6 kN	4.3 kN

El diseño estadístico fue de parcelas completamente aleatorizadas, la medida de cada parcela fue de 10 m de ancho por 100 m de largo (1000 m<sup>2</sup>). Las variables experimentales que se vincularon a la rodadura y compactación producida por el tráfico fueron: el índice de cono, el esfuerzo de rodadura y la profundidad de huella. El índice de cono, se midió a través de un penetrométero de cono (ASABE S 313 2008), hasta una profundidad de 200 mm. Las mediciones de dicho parámetro (20 muestras para cada parcela) fueron realizadas antes del tráfico del tractor, de esta manera se definió la condición mecánica de suelo según propuesta de Smith y Dickson (1990). Las mediciones de esfuerzo de rodadura (20 en total) se realizaron con un dinamómetro hidráulico que fue ubicado en la barra de tiro (tipo celda de carga) del tractor que actuó como remolcador según propuesta de Botta et al., (2007). Ambos tractores fueron unidos por medio de un cable de acero desde la barra de tiro del tractor remolcador al centro de resistencia del tractor remolcado. Los tractores fueron remolcados a una velocidad de 1,89 ms<sup>-1</sup>. El tractor remolcado circuló desplazado con respecto al remolcador, esto fue para que el tractor remolcado no transite sobre las huellas del remolcador y así no afectar las mediciones del esfuerzo de rodadura. El valor del esfuerzo de rodadura obtenido, fue corregido por el ángulo de desplazamiento entre los dos tractores. Para obtener la profundidad de huella se colocó una varilla en forma perpendicular a la huella y con regla rígida se midió el centro y los costados de la huella obteniendo 5 mediciones por cada posición de la varilla y 50 mediciones en total por cada parcela.

El análisis de las variables se realizó mediante un modelo de ANOVA independiente con el programa Statgraf 7.1. El criterio empleado para expresar los resultados fue el test de comparación de medias de Duncan (Botta et al., 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de esfuerzo de rodadura e índice de cono del suelo para el tractor FWA (T1) y para el tractor 4WD (T2) se muestran en las Tabla 2 y 3. El mayor esfuerzo de rodadura (R) lo presentó el tractor T2 podría explicarse a partir de su mayor peso total, que supera en 1.3 kN al tractor T1. También lo anterior se puede atribuir a las mayores profundidades de huella (Tabla 4) generadas por T2 que, si bien no presentaron diferencias estadísticamente significativas,

marcaron una tendencia. En la misma tabla se puede ver que la pérdida de potencia por rodadura fue siempre mayor para el tractor T2.

**Tabla 2. Valores de esfuerzo de rodadura corregidos y de coeficiente de rodadura para los tractores FWA y 4WD.**

Condición de suelo	FWA (T1)		4WD (T2)	
	Esfuerzo de rodadura (kN)	Coefficiente de rodadura	Esfuerzo de rodadura (kN)	Coefficiente de rodadura
Siembra directa	0.384 a	0.086	0.768 a	0.185

*Diferentes letras, para el dato de esfuerzo de rodadura indican diferencias significativas ( $P < 0,01$ , Duncan) entre tratamientos.*

**Tabla 3. Valores medios de índice de cono (kPa)**

Profundidad (mm)	0	25	50	75	100	125	150	175	200
Siembra directa	1298 a	1333 a	1358 a	1435b	1439 b	1579 c	1600c	1650 c	1700c d

*Letras distintas denotan diferencias significativas ( $P < 0,01$ , Duncan).*

Los valores de pérdida de potencia ocasionada por la rodadura fueron mayores para el T2, pero se debe destacar que el tractor T1 posee 140 CV y el T2 posee 194 CV. Esto concuerda ampliamente con lo citado por la bibliografía sobre que, a potencias similares en el motor, el desempeño tractivo de un tractor 4WD es siempre mayor que un FWA. Del análisis de las Tabla 2 puede observarse una relación armónica entre el ancho del rodado 24.5 - 32 y sus 4.6 kN de peso sobre el eje, evidenciado por los menores valores de coeficiente de rodadura de T1.

**Tabla 4. Valores de profundidad de huella y pérdida de potencia por rodadura de los tractores ensayados**

Condición de suelo	FWA (T1)		4WD (T2)	
	Profundidad de huella (mm)	Potencia perdida en rodadura (CV)	Profundidad de huella (mm)	Potencia perdida en rodadura (CV)
Siembra directa	3.6 a	4.39 a	3.9 a	8.8 a

*Diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0,01$ , Duncan) entre tratamientos.*

El rodado 23.1 – 30, con 4.3 kN de peso aparece como una peor combinación de peso por eje y ancho en virtud de corresponderle el mayor coeficiente de resistencia a la rodadura (0.768). Es probable que esto se pueda atribuir a la mayor profundidad de huella que produjo. De todas formas, ambas cubiertas respondieron en forma directa al peso que soportaban. Botta et al. (2012) propusieron como ancho crítico en tractores convencionales (2WD) el neumático de 23.1 pulgadas a partir del cual el efecto “bulldozing” produce un aumento del esfuerzo de rodadura y una baja compactación superficial de suelos con baja capacidad portante. Sin embargo y puntualmente para la condición de suelo siembra directa, el valor de esfuerzo de rodadura para el tractor T2 casi duplicó al valor del T1. Esto podría deberse pura y exclusivamente al mayor peso del tractor y a la ausencia o disminución del efecto bulldozing en esta condición de suelo. Es en este caso donde se pueden apreciar realmente las ventajas de contar con un tractor equipado con neumáticos de mayor ancho, en cuanto al esfuerzo de rodadura se refiere. Otra hipótesis podría ser que en los suelos arcillosos al utilizar una rueda muy ancha se produce una deformación lateral del suelo que aumentaría la rodadura coincidiendo así con Cisneros y Pozzolo (1996).

De la discusión generada se encontró que los tractores estaban equipados con los neumáticos indicados: (T1) con el mayor rodado posible (24.5 – 32) para un FWA de esa potencia, y el (T2) con 23.1-30, se puede decir, basándose en los antecedentes recopilados y a los resultados obtenidos, que los mismos no fueron los limitantes del desempeño de los tractores a baja

velocidad, si pudo serlo la alta carga sobre la rueda, la que produjo una mayor hundimiento en el tractor T2.

### CONCLUSIONES

- La potencia perdida en rodadura es importante y toma valores considerables a pesar de la alta capacidad portante de un suelo trabajado en forma continua bajo siembra directa.
- A pesar de la alta capacidad portante del suelo bajo siembra directa se pudo encontrar una relación directa entre profundidad de huella y el peso del tractor que lo transitó.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASABE. (2008). S313.3. Standard Soil Cone Penetrometer. ASABE Standards pp: 980-981.

Botta G., Tourn M., Pozzolo O., Soza E., Rivero D., Tolón Becerra A., Agnes D., F. Bellora Melcón. (2007). Estudio del esfuerzo de rodadura en tractores articulados (4WD) y de tracción delantera asistida (FWA). Revista de la Facultad de Agronomía (U.B.A.) ISSN 0325-9250. Ed. F. de Agronomía de UBA. 27 (3): 221 – 229.

G. F. Botta, A. Tolón Becerra, X. Lastra Bravo, M. Tourn. (2010). Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*glycine max l.*) yields in Argentinean Pampas. Soil and Tillage Research ISSN: 0167-1987. Ed. ELSEVIER. 110/167 – 174.

Botta, G.F., A. Tolón-Becerra, M. Tourn, X. Lastra-Bravo. D. Rivero. (2012). Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to different axle load, tyre sizes and soil condition. Soil and Tillage Research ISSN: 0167-1987. Ed. ELSEVIER. 120/92 - 98

Cisneros R., O. Pozzolo. (1996). Efecto del tránsito sobre suelo inundado. Parte II: Rodado neumático R2. En: Memorias CADIR 96, 1: 65-70. Provincia de Neuquen, Argentina. Ed. Universidad del Comahue

Perdok, U. D., Tijink F. (1990). Developments in IMAG research on mechanization in soil tillage and field traffic. Soil and Tillage Research. 16 (1): 121-143.

Smith, D. L., Dickson, J. W. (1990). Contributions of weight and ground pressure to soil compaction. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46: 13-29.

Soane, B. D., J., Dickson, W., Campbell, J. (1982). Compaction by agricultural vehicles: a review. III Incidence and control of compaction in crop production *Soil and Tillage research*, 2 (3):-367.

Soil Conservation Service. (1994). *Keys to Soil Taxonomy*, 6th edition. Soil Survey Staff, USDA, Washington DC, USA.

Wood, R. K., BURT, E. (1987). Thrust and motion resistant from soil tire interface stresses measurements. *Transactions of the ASAE*, 30 (5): 1288-1292.



## SISTEMA DE MEDICIÓN DE RENDIMIENTO PARA MAQUINARIA AGRÍCOLA Y CABALLOS DE TIRO PESADO

### Performance Measuring System of Agricultural Machinery and Draft Horses

**Jairo Caballero Peña<sup>1</sup>, Hugo Sanhueza Leal<sup>2</sup>, Oscar García-Navarrete<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Estudiante Maestría en Ingeniería – Ingeniería Eléctrica, Carrera 30 No 45-03, Edificio 411, Oficina 101 EM&D CP: 3165000 - 11153, Bogotá, Colombia. E-mail: jacaballerop@unal.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Estudiante Maestría en Ingeniería – Ingeniería Agrícola, Carrera 30 No 45-03, Edificio 214, Oficina 201 CP: 3165000 - 111321, Bogotá, Colombia. E-mail: hssanhuezal@unal.edu.co

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Docente Ingeniería Agrícola, Carrera 30 No 45-03, Edificio 214, Oficina 203 CP: 3165000 - 111321, Bogotá, Colombia. E-mail: olgarcian@unal.edu.co

**Resumen:** El uso de la tracción animal en la agricultura altiplánica colombiana ha sido reemplazado por tecnologías más sofisticadas de alto desempeño, No obstante, el uso de caballos de tiro en las labores agrícolas puede brindar múltiples beneficios a escalas pequeñas de producción, que aportan a la conservación de suelos en laderas, en donde el uso del tractor no es factible. Para este fin, se diseñó un sistema integral de máquina + implemento + caballo de tiro + operador identificado como Sistema de Mecanización Agrícola a Tracción Animal (SIMATA), el cual se evaluó bajo condiciones de campo típicas de la agricultura altiplánica de la región Cundi-Boyacense de Colombia. Se desarrolló un sistema de medición electrónico en tiempo real (SMETR) para medir la fuerza de tiro, evaluar la capacidad de trabajo de los equinos de tiro pesado y el desempeño de las herramientas de labranza. El SMETR fue instalado en un subsolador asimétrico y está compuesto por una celda de carga tipo S y un sensor infrarrojo para la medición de la profundidad de trabajo del subsolador. Se obtuvieron los resultados de calibración y caracterización de los diferentes sensores y posteriormente se realizó la validación mediante pruebas en campo.

**Palabras claves:** Caballos de tiro, fuerza de tiro, profundidad de trabajo, tracción animal.

**Abstract:** The use of draft animals in the Colombian highlands has been replaced by more sophisticated technology with high performance. Nonetheless, the use of draft horses in farming activities has the potential for providing multiple benefits in small scale agriculture, like employing soil conservation practices in steep hills, where the use of a tractor is not feasible. With this purpose, an integrated system of transport/working platform + implement + draft horse + operator, also known as Animal Drawn Agricultural Mechanization System (ADAMS), was developed. This was evaluated under typical field conditions of the agriculture practiced in the highlands of the Cundi-Boyacense region of Colombia. A real-time electronic measurement system (RTEMS) was developed for measure the draft force, evaluate the draft horse working capacity and field performance of tillage implement. The RTEMS was installed on an asymmetrical subsoiler and it is integrated by a type-S load sensor and an infrared sensor for the measurement of the subsoiler's working depth. The sensor's calibration and characterization results were obtained and validated afterwards during fieldwork.

**Keywords:** Animal traction, draft horses, draft force, monitoring, working depth.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo agrícola sostenible y la competitividad de la agricultura altiplánica Cundi-Boyacense están supeditados en gran parte a la solución de dos problemas muy puntuales. Primero, la baja productividad laboral, y segundo, el creciente deterioro de los suelos agrícolas. La agricultura del Altiplano Cundi-Boyacense no difiere de ser tradicional a pesar de que el uso del tractor ha reducido significativamente el uso de los bueyes. El deterioro de los suelos agrícolas, causado por el uso indiscriminado del tractor, herramientas mal empleadas, y técnicas no apropiadas, aumentan la compactación y erosión. Para intentar reducir esta problemática se plantea la construcción del Sistema Integral de Mecanización Agrícola a Tracción Animal (SIMATA), este sistema puede aportar al desarrollo de capacidades y conocimientos relacionados con la mecanización agrícola y el uso adecuado de la tracción animal. El objetivo principal del proyecto fue desarrollar, implementar y validar un sistema electrónico que tuviese la capacidad de integrar varios sensores para

monitorear las variables que afectan el desempeño del sistema “integral” de mecanización agrícola con caballos de tiro. El SIMATA, está compuesto por: un elemento generador de potencia/fuerza (caballos de tiro), un elemento mecánico para el manejo y control de la herramienta de labranza (máquina/implemento agrícola), y el operador (ej. pequeño productor). El sistema de medición electrónica en tiempo real (SMETR), se diseñó para evaluar el rendimiento del SIMATA en diferentes sistemas productivos. Los resultados de la investigación confirmarán si el SIMATA es apto para el trabajo agrícola eficiente, en terrenos planos y en laderas inferiores a 20% de inclinación. Estudios recientes en la región Latinoamericana reportan del desarrollo de prototipos de medición electrónica que han sido utilizados para registrar los rendimientos de implementos agrícolas halados por animales de tiro o tractor, (Venturelli, et. al. 2009, Arredondo, 2003, Morales Zapata, 2015)

### MATERIALES Y METODOS

Para determinar las condiciones donde el SIMATA es eficiente se usan los siguientes elementos que lo componen:

- **Maquinaria:** Se empleó un subsolador asimétrico conectado a una plataforma apoyada en tres ruedas (carro de enganche), para mantenerla paralela al suelo y reducir el movimiento ascendente y descendente sobre el axis longitudinal (efecto delfín), ocasionado por los animales durante el trabajo. Adicional al subsolador, el carro de enganche incluye una batería 12V y un sistema hidráulico con un peso total de 716[kg].
- **Animales de tiro:** Se utilizaron dos equinos de tiro pesado de la raza Brabante de origen belga, con un peso de 638 [kg] para el macho (Marqués) de 5 años de edad y una hembra (Tabby) de 790 [kg] y de 11 años de edad, para un total de 1428 [kg] de peso vivo, con dos arneses estilo Amish con peso de 51 [kg].
- **Operador:** se empleó un operador entrenado para el manejo de los animales y del SIMATA, con un peso de 63 [kg].

Para la adquisición y registro de datos se desarrolló el SMETR que se compone de los siguientes elementos:

- **Tarjeta de desarrollo:** La fuerza de tiro y la profundidad de trabajo se registraron mediante un microcontrolador (MCU) ATMEGA328P, convertidor análogo digital (ADC)

10 bits, acoplado a un módulo de tiempo real RTC para la sincronización de los datos, una SD Card para el almacenamiento de datos en archivo de texto plano y una LCD para el control y visualización.

- **Celda de carga:** La medición de fuerza de tiro se realizó mediante una celda de carga tipo S con capacidad de 1000 [kgf] y sobrecarga segura del 150%, se ubicó entre los balancines y el carro de enganche concentrando en un solo punto la fuerza de los caballos, usando la metodología propuesta por (Venturelli, et. al. 2009). Se realizó el acondicionamiento de señal mediante un amplificador de instrumentación que a su vez proporciona la tensión DC de 10V de alimentación.
- **Profundidad de trabajo:** La medición se realizó con un sensor de distancia infrarrojo (Sharp GP2Y0A21) el cual fue acoplado a la estructura del cincel para medir su distancia respecto a una placa fija acoplada a la barra de tiro.
- **Monitoreo de Equinos:** El monitoreo de los animales se realizó mediante un reloj POLAR M400 con cinta equina el cual proporciona la ubicación GPS, velocidad, tiempo, distancia recorrida, altura sobre el nivel del mar y el ritmo cardíaco.

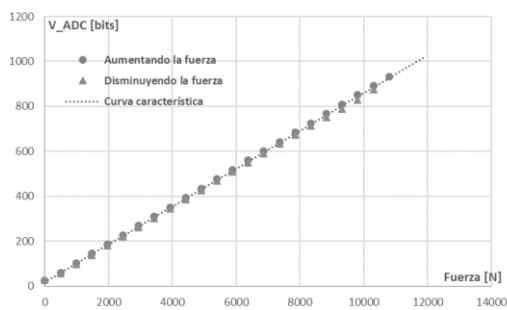
**Ubicación de los ensayos:** El SIMATA se evaluó en dos tipos de terrenos: pastizales y barbechos. Estos terrenos están ubicados en el municipio de Guasca Cundinamarca a 2880 msnm, en suelos planos y laderas suaves (8 a 12 grados). Algunos, relativamente limpios, pero con pasto Kikuyo “macollado” y algo de malezas de aproximadamente 20-25 [cm] de altitud.

**Procedimiento:** Se establecieron cuatro sectores de trabajo de un cuarto de hectárea cada uno, a cada sector se le registro manualmente las variables asociadas al suelo (humedad, resistencia al corte y tipo de suelo); terreno (plano vs ladera, barbecho vs pradera e infestación de malezas). Las demás variables asociadas a la maquinaria y a los equinos son registrados mediante el SMETR, tales como fuerza de tiro, la velocidad y ritmo cardíaco. Además, de los datos constantes de la maquinaria (tipo, peso, tamaño, ancho de corte, calidad de trabajo y aplicación) y los animales (peso, raza, tamaños, tamaño del corvejón y tibia, calidad muscular, edad y sexo). En este artículo no se incluye el análisis de las variables del suelo o el terreno puesto que están fuera del alcance del estudio.

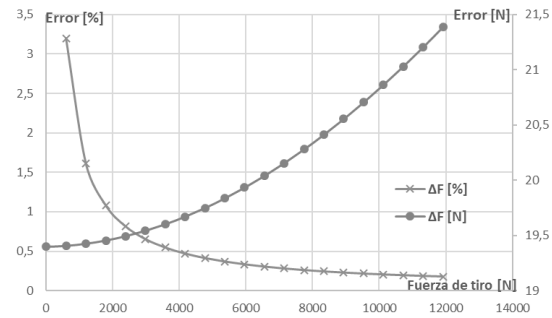
## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se dividen en dos, calibración del SMETR y los ensayos de validación.

**Fuerza De Tiro:** Basado en la caracterización de la celda de carga (incremento y reducción de fuerza de prueba en laboratorio) y acondicionamiento de señal se encontró la curva de calibración para medir la fuerza de tiro (Figura 1) y su error. La incertidumbre en la fuerza  $\Delta F$  se encuentra en función del valor medido debido al muestreo realizado el cual introduce un error de estimación del ADC, además contempla la histéresis y no linealidades presentes en la celda de carga; todas estas son completadas mediante propagación de error basada en la desviación estándar de las medidas.



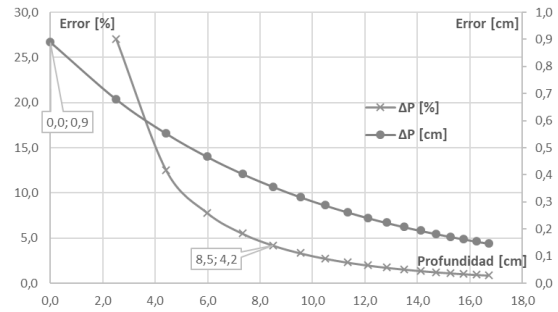
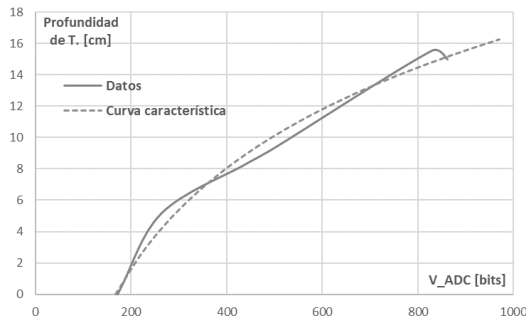
**Figura 1.** Curva característica de la celda de carga.



**Figura 2.** Incertidumbre en la medición de fuerza.

El comportamiento de la incertidumbre en la fuerza se puede observar en la Figura 2 el cual es mayor conforme aumenta la fuerza a medir hasta un máximo de 21,4 [N], pero porcentualmente es inversamente proporcional con un máximo de 3,2% en el rango de medida de la celda de carga hasta una sobrecarga de 120%.

**Profundidad de Trabajo:** La curva logarítmica característica de la profundidad de trabajo se presenta en la Figura 3. Este comportamiento se debe al método de ángulo de refracción, empleado por el sensor infrarrojo. Esta curva se obtuvo de la medición de la profundidad del terreno de al menos 10 puntos por algunos trayectos de recorridos del subsolador con diferentes valores de profundidad establecidos con el brazo control hidráulico del subsolador.

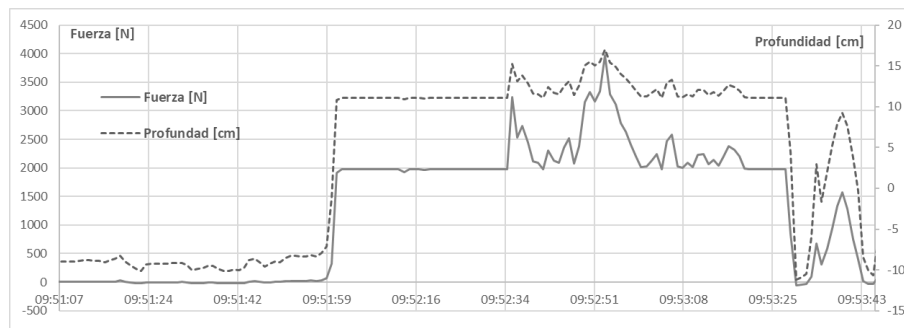


**Figura 3.** Curva característica profundidad de trabajo.

**Figura 4.** Incertidumbre en la profundidad de trabajo.

El comportamiento de la incertidumbre en la profundidad de trabajo se puede observar en la Figura 4, la cual puede llegar a tener valores de hasta 0,9 [cm] equivalente a 27 %, pero contemplando únicamente el rango de trabajo típico del subsolador (7 a 16 [cm]) la incertidumbre se encuentra por debajo del 5 %, permitiendo una medición acertada.

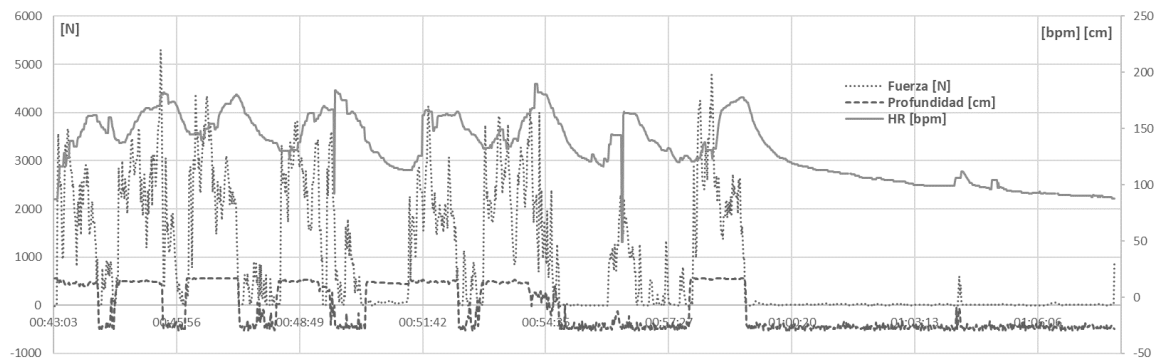
**Resultados de los ensayos de validación:** En la Figura 5, se presenta el comportamiento de la fuerza ejercida y la profundidad de trabajo durante un recorrido típico del subsolador, promediados cada minuto. En cuanto a la profundidad de trabajo, los valores negativos corresponden a los momentos en los cuales el cincel se encuentra fuera del suelo y por lo tanto fuera de rango de medición del sensor.



**Figura 5.** Datos de fuerza (línea continua) y profundidad de trabajo del subsolador (línea punteada) durante un recorrido típico.

Aunque la utilización del brazo hidráulico como un elemento de control de la profundidad del cincel, y la configuración mecánica del sensor de distancia, atenúan las variaciones en la profundidad, se puede observar una clara relación entre los incrementos del esfuerzo a una mayor profundidad de trabajo. Las variaciones en la profundidad son causadas por las irregularidades del terreno, movimientos en el axis longitudinal del carro y obstáculos encontrados en el terreno por el cincel. Además, es de importancia mencionar que el uso continuo de estos potreros para la rotación de pastos y cultivos de papa, y la posterior introducción del ganado para pastoreo, ha causado una alta compactación en los primeros 10 cm presentando irregularidades o huecos.

**Ritmo cardiaco:** Para la obtención del ritmo cardiaco del animal se sincronizaron los datos registrado por el SMETR con los datos del Polar y se grafican en función del tiempo. En la Figura 6, se presenta el resultado de la fuerza y ritmo cardiaco (yegua Tabby) en un recorrido de 905,4 [m], donde, el ritmo cardiaco pico de trabajo es de 190 [bpm], correspondiente a 15 minutos de operación con subsolador, para la recuperación, a un ritmo cardiaco de reposo de 88 [bpm], empleo un tiempo de 8 minutos y 36 segundos.



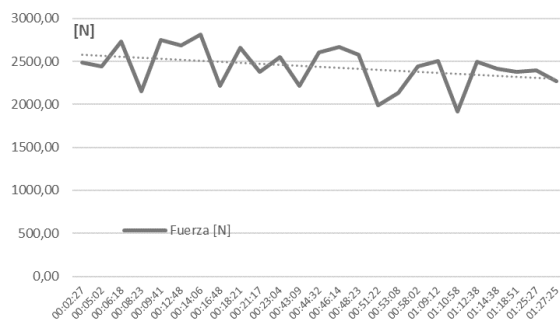
**Figura 6.** Datos de fuerza [N] y profundidad de trabajo [cm] para recorrido de 905 [m].

En los trayectos en los cuales no se emplea el cincel (valores de profundidad negativos) se presenta una menor fuerza, así como ritmo cardiaco inferiores, permitiendo la pronta recuperación de los animales. Estos se deben a que son los trayectos de curvas y ubicación de la maquinaria. Se realizó el cálculo de los valores promedio de fuerza y ritmo cardiaco

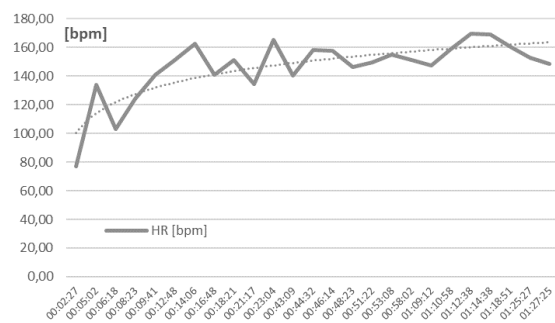


para cada uno de los trayectos, tal como se presenta en la Figura 7 y Figura 8. En la cual se observa la respectiva reducción en fuerza de 300 [N] y aumento en el ritmo cardiaco propios del desgaste de los animales. Se contempló un tiempo de descanso más prolongado luego del realizar labores de cincelado durante 40 minutos encontrando un tiempo de recuperación de 17 min 36 segundos para un pulso de descanso de 79 [bpm] y ritmo cardiaco pico de 180 [bpm].

El tiempo de recuperación es variable entre los equinos, como se ha podido observar, debido a que los animales utilizados mostraron diferencias en peso, tamaño, sexo, edad y otros, afectando la distribución uniforme del esfuerzo. Se contó con la presencia de un médico veterinario especializado en medicina deportiva durante los ensayos, sus observaciones fueron que, la frecuencia cardiaca de la yegua Tabby al comienzo del ejercicio fue muy alta (80 [bpm]) y puede ser indicativo de una condición de dolor o enfermedad en el momento de la lectura. El tiempo de recuperación es muy lento de aproximadamente 15 minutos. La frecuencia cardiaca normal de un equino en descanso es de 28 a 40 [bpm] y su recuperación debería ser entre 6 a 8 minutos.

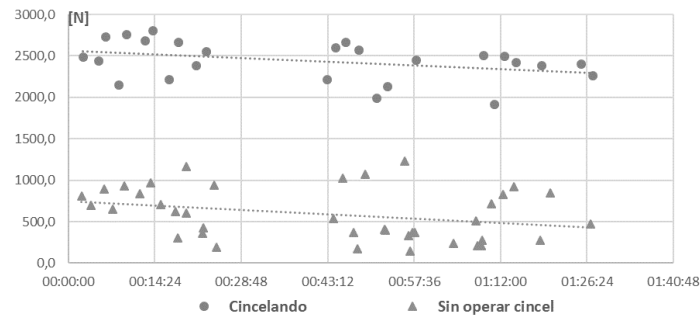


**Figura 7.** Resultados promedio por trayecto de fuerza de tiro [N]



**Figura 8.** Resultados promedio por trayecto de ritmo cardiaco [bpm]





**Figura 9.** Resultados promedio por trayecto de fuerza [N] con y sin el uso del cincel.

En la Figura 9 se presenta la fuerza promedio por trayecto con cincel operando vs sin operar, obteniendo una fuerza de resistencia al corte del suelo de 1800 [N]. Sin embargo, independientemente de la labor que se realice la fuerza de tracción tiene tendencia a disminuir conforme transcurre la jornada de trabajo. La fuerza promedio de trabajo de 2390 [N] con desviación estándar de 782 [N] proporcionalmente alta debido a los frecuentes picos de trabajo de hasta 4000 [N]. La fuerza promedio representa el 17,07 %  $\pm$  5,58 % con relación al peso vivo de los caballos empleados. En los trayectos donde solo se transporta la máquina, se obtiene una fuerza promedio de 591 [N] equivalente a 4,22 % respecto al peso del peso vivo de los animales, pero con alta variabilidad, desviación estándar de 406 [N] (2,90 %), debido a un menor ritmo de trabajo y a tiempos cortos de desplazamiento.

## CONCLUSIONES

El conjunto SIMATA y SMETR en condiciones de campo funcionó adecuadamente obteniendo valores en rangos confiables, siendo altamente eficiente y práctico para el ensayo. Se obtuvieron errores porcentuales inferiores al 3% en fuerza de tiro y menor al 5% en la profundidad de trabajo. Uno de los inconvenientes es el alto peso del SIMATA que afectó el tiempo requerido para cincelar 1 ha, aunque las cuatro horas utilizadas para completar el trabajo fueron aceptables. En cuanto a la frecuencia cardiaca (máxima, media y mínima) deben ser cuidadosamente monitoreadas para evitar la fatiga excesiva y para protegerlos de condiciones fisiológicas peligrosas. El desarrollo de sistemas que permitan evaluar las condiciones de trabajo y las eficiencias en animales de tiro en las labores agrícolas abre el camino a la utilización adecuada de estos animales, contribuyendo a la disminución del

impacto ambiental por la utilización de combustibles fósiles. Otro factor clave de resaltar es que estos sistemas ayudan al aprovechamiento eficiente del animal sin exceder su capacidad física y sin afectar su integridad fisiológica.

### REFERENCIAS

1. Arredondo Arredondo, José J.; Ortiz Laurel, Hipólito; Rössel Kipping, Dietmar; Morales García, Dagobiet. “Evaluación del Desempeño de Tres Tipos de Arado de Tiro Animal.” *Agrociencia*, vol. 37, núm. 2, marzo-abril, 2003, pp. 187-194 Colegio de Postgraduados Texcoco, México (Agrociencia ISSN: 1405-3195 agrociencia@colpos.mx Colegio de Postgraduados México).
2. Collins, E. V. and A. B. Caine. “Testing Draft Horses”. Agricultural Experiment Station, Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts. Ames, Iowa. Oct. 1926.
3. Morales Zapata, Oscar Stiven. “Diseño de un Sistema de Arado Para la Preparación del Suelo en Cultivos Orgánicos Dirigido a Pequeños Agricultores”. Tesis. Universidad Militar Nueva Granada Facultad De Ingeniería, Ingeniería En Mecatrónica, Bogotá D.C. 2015
4. Schmitt, Paul; Moscardo, Albano. Test Report SmP 2014-1: Seeder-Roller, SmP SEI-ROLL 1.0 for Horse Traction. Summer 2014.
5. Venturelli, Leonardo; Moltoni, Andrés; Esparza, Silvina; Huerga, Ignacio, Giordano, Gabriela; Valderrama, Pedro; y Regazzoni, Juan. “Tracción de Implementos en la Agricultura Familiar. Desarrollo de Instrumental para Medir Fuerza de Tiro y Potencia.” INTA, Argentina. Año 2009.
6. Campos M. Santos G.; Reynolds C. Marco A.; Cadena Z. Martín; López L. Juan A.; Cuervo P. Neftali y Ramírez F. Gabriela. “Desarrollo de un sistema integral de medición de fuerzas para la evaluación de implementos de labranza” *Terra Latinoamericana*, vol. 33, núm. 2, 2015, pp. 139-149 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, Méxic

## SUBSOLADORES E SUA RELAÇÃO ESPACIAL COM A MOBILIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DA PALHADA EM SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

### CHISEL PLOW AND THEIR SPATIAL RELATIONSHIP WITH THE MOBILIZATION AND MAINTENANCE OF SINGLE SHARING UNDER NO- TILLAGE

Kézia de Sá da Silva Conceição<sup>1</sup>; Paulo Henrique Conte<sup>2</sup>; Artur Zancan<sup>3</sup>; Junior Verardi<sup>3</sup>;  
David Peres da Rosa<sup>4</sup>

(1) Acadêmica do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – *Campus Sertão*, Sertão -RS, Núcleo de Estudos em Solos e Máquinas Agrícolas (NESMA), E-mail: [keziasaa@gmail.com](mailto:keziasaa@gmail.com), t: 55 21 988789433, Brasil;

(2) Acadêmicos do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – *Campus Sertão*, Bolsista PIBIT-CNPq/IFRS, NESMA, E-mail: [pauloconte20@gmail.com](mailto:pauloconte20@gmail.com), t: 55 49 999604542, Brasil.

(3) Acadêmicos do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – *Campus Sertão*, Bolsista BICTES/IFRS, NESMA, E-mail: [zancan.artur@gmail.com](mailto:zancan.artur@gmail.com), [junior.verardi@hotmail.com](mailto:junior.verardi@hotmail.com), t: 55 54 984012678, 55 54 99909619, Brasil.

(4) Eng. Agríc., Prof. Dr do IFRS – *Campus Sertão*, Sertão – RS, NESMA, E-mail: [david.darosa@sertao.ifrs.edu.br](mailto:david.darosa@sertao.ifrs.edu.br), t: 55 54 33458062, Brasil.

**RESUMO:** A mobilização do solo por subsoladores torna-se necessário quando na presença de compactação do solo. O objetivo deste trabalho foi quantificar via agricultura de precisão o desempenho de dois tipos de subsoladores sob a mobilização do solo e na incorporação de palhada. O experimento foi instalado em Nitossolo Vermelho sob sistema plantio direto, em 2 talhões de 0,5 ha cada, sendo um com Subsolador 1 (sub1) composto por chassi, roda delimitadora, hastes e ponteiros, e subsolador 2 (sub2) dotado além dos itens anteriores de disco de corte de palha e rolo destorroador. Foram avaliados a área de solo mobilizada e a elevada, além da incorporação de palha, ambos durante o processo de subsolagem, isto em um gride amostral de 6 pontos por talhão. Para o primeiro parâmetro, foi usado um perfilômetro, após, a área foi calculada no software educacional AutoCad®, já a porcentagem de palha incorporada via quantificação antes e após a operação da subsolagem. O Sub 1 incorporou dentre 73,9-89,73% em 80% da área, já o outro de 10,57-42,23% da palha em

88%. Acompanhada da maior incorporação de palha, o Sub 2 teve área mobilizada entre 501,03-1012,15 cm<sup>2</sup> em 90% da área, contra 36% do sub1. Na área de elevação, o Sub1 manteve 100% da área entre 350,84-1819,19 cm<sup>2</sup>, já no sub2 houve aumento para 2186,28 cm<sup>2</sup>, apontando que o subsolador com disco possui melhor desempenho no campo.

**Palavras-chaves:** Perfilômetro, cobertura vegetal, incorporação da palhada.

**ABSTRACT:** Soil mobilization by subsoiling is necessary when soil compaction is present. The objective of this work was to quantify through precision agriculture the performance of two types of subsoilers under soil mobilization and in the incorporation of straw. The experiment was installed in Red Nitossolo under no-tillage system, in two plots of 0.5 ha each, one with subsoiler 1 (sub1) composed of chassis, bounding wheel, rods and tips, and subsoiler 2 (sub2) previous items of straw cutting disc and ripper roller. The area of mobilized and elevated soil was evaluated, besides the incorporation of straw, both during the subsoiling process, this in a sample grid of 6 points per plot. For the first parameter, a profilometer was used, after the area was calculated in the educational software AutoCad®, already the percentage of straw incorporated through quantification before and after the operation of the subsoiling. The Sub 1 incorporated between 73,9-89,73% in 80% of the area, while the other one of 10,57-42,23% of the straw in 88%. Accompanied by the greater incorporation of straw, sub 2 has a mobilized area between 501,03-1012,15 cm<sup>2</sup> in 90% of the area, versus 36% of sub1. In the area of elevation, Sub1 maintained 100% of the area between 350,84-1819,19 cm<sup>2</sup>, already in sub2 there was increase to 2186,28 cm<sup>2</sup>, indicating that the subsoiler with disc has better performance in the field.

**Key-words:** Profileometer, vegetation cover, straw incorporation.

## INTRODUÇÃO

Com a evolução da agricultura no século XIX teve-se o surgimento e implemento das máquinas agrícolas, proporcionando maior produtividade e assim, remodelando as técnicas de produção, acarretando no aumento de produtos agrícolas no mercado mundial; tal processo reduziu a necessidade de mão de obra. Essa evolução incessante provocou uma crescente

oferta de equipamentos com tecnologias cada vez mais avançadas (Vian et al., 2013), porém, cada vez está sendo mais encontrado aumento dos problema de compactação do solo. A compactação limita a infiltração de água no perfil do solo (Lanzanova et al., 2007), resultando na redução do teor de água do solo (Brandão et al., 2006), e aumento da densidade e redução da macroporosidade do solo (Reichert et al., 2008), consequentemente influenciando no crescimento radicular e na parte aérea da planta (Rosa et al., 2016).

Para redução da compactação, há emprego de subsoladores ou escarificadores, que revolvem as camadas compactadas até 60 cm, no entanto, no mercado há uma vasta gama de equipamentos para a subsolação, que geram dúvidas sobre seus resultados no solo. Nesse sentido, objetivo desse trabalho foi comparar via agricultura de precisão o desempenho de dois tipos de subsoladores na mobilização do solo e na incorporação de palhada de um Nitossolo Vermelho sob sistema plantio direto.

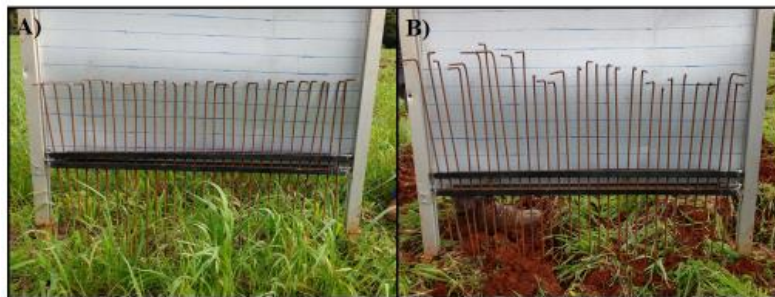
### MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em solo classificado como Nitossolo Vermelho (Streck et al., 2008) ou Oxisol Udic (Soil Taxonomy, 2013), anteriormente manejado com sistema plantio direto há 20 anos, localizado na área agrícola do IFRS – *campus* Sertão, instalado no ano de 2017. O solo no momento da subsolagem apresentava umidade de 29,62%, a profundidade de trabalho de ambos os equipamentos foi de 0,30 metros e a velocidade de deslocamento foi de 2,77 km h<sup>-1</sup>. As áreas experimentais constaram de 2 talhões de 0,5 ha, para qualificação dos parâmetros avaliadores confeccionou-se um gride amostral de 6 pontos por talhão, sendo um tratamento nomeado como cultivo mínimo convencional (CMc), este subsolado com subsolador composto por chassi, roda delimitadora, 7 hastes curvas com ponteiros estreitas (Figura 1A) e o outro cultivo mínimo com disco (CMd), subsolado com subsolador composto além dos itens anteriores, disco de corte e rolo destorroador (Figura 1B).



**Figura 1. A) Subsolador convencional (CMc); B) Subsolador equipado com o opcional disco de corte de palha e rolo destorroador (CMD)**

Para avaliar a mobilização dos subsoladores foi mensurado a área mobilizada e elevada, através do método da perfilometria, isto através de um perfilômetro composto de 30 varetas, dispostas de 3 em 3 cm, totalizando uma área de 0,9 metros lineares, o aparelho foi disposto no sentido transversal ao do trajeto da subsolagem, sendo que a avaliação se deu pela diferença do perfil do solo natural anterior à subsolagem (Figura 2A) e após a operação dos subsoladores (Figura 2B). O processamento desta diferença foi calculada no software educacional AutoCad®.



**Figura 2. A) Perfilometria natural; B) Perfilometria após a operação, demonstrando perfil elevado.**

Para quantificação das porcentagens de cobertura vegetal incorporada, confeccionou-se um equipamento de madeira (Figura 3) composto de 11 furos equidistantes com distância entre si de 0,10 metros, totalizando 1 metro de leitura. Determinou-se que cada espaço entre os furos corresponde a 10%. O aparelho foi implantado no mesmo ponto que o perfilômetro e a diferença entre antes e após a subsolagem foi a quantidade incorporada de cobertura



vegetal.

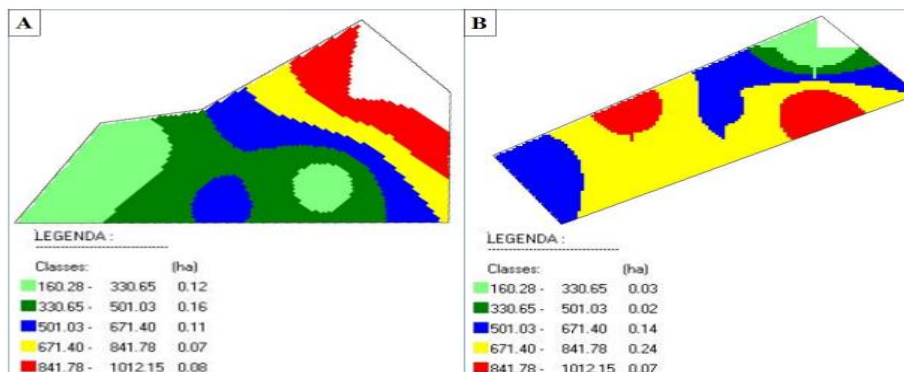


**Figura 3. Equipamento de madeira compostos de 11 furos equidistantes com distância entre si de 0,10 metros, totalizando 1 metro de leitura.**

Para a delimitação da área e a localização dos pontos amostrais foi utilizado um GNSS Garmin® modelo Etrex 20, a confecção da malha amostral e mapas de agricultura de precisão, a estruturação dos modelos digitais foram realizados pelo software Campeiro7®, utilizando o interpolador Kriggagem – Semi variograma linear.

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

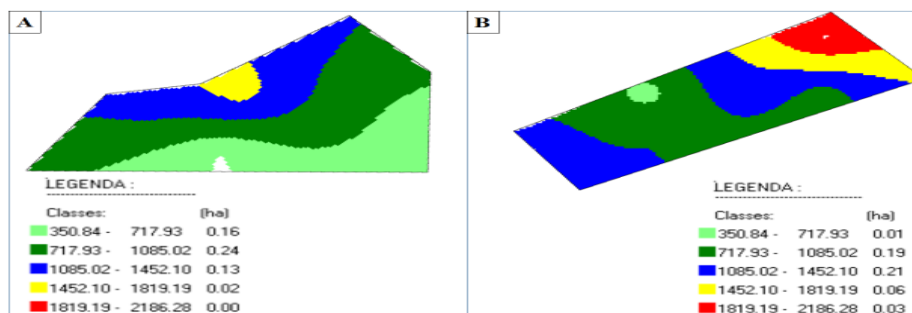
A área de solo mobilizada (Figura 4) apresentou uma variação de 160,28 a 1012,15 cm<sup>2</sup>, sendo que a maior porcentagem de área ficou na classe 2 (330,65 – 501,03 cm<sup>2</sup>) com 31,37% para o CMc, contra 3,92% do CMD. O CMD teve maior área na classe 4 (671,40 – 841,78 cm<sup>2</sup>) com 47,05%, contra 13,72% do CMc. O desvio padrão foi 7,19 para o CMc, contra 0,18 do CMD, indicando os pontos mais próximos da média, refletindo em uma maior homogeneidade com a operação do CMD. Demonstrando que ambos os equipamentos apresentam valores baixos, visto que nos estudos de (Carvalho Filho, 2008) em um Latossolo Roxo obteve valores de solo mobilizado de 4200 cm<sup>2</sup> de solo com um subsolador composto de 3 hastes.



**Figura 4. Área de solo movilizada (cm<sup>2</sup>) pelos subsoladores no cultivo mínimo convencional – CMc (A) e no cultivo mínimo disco – CMD (B)**

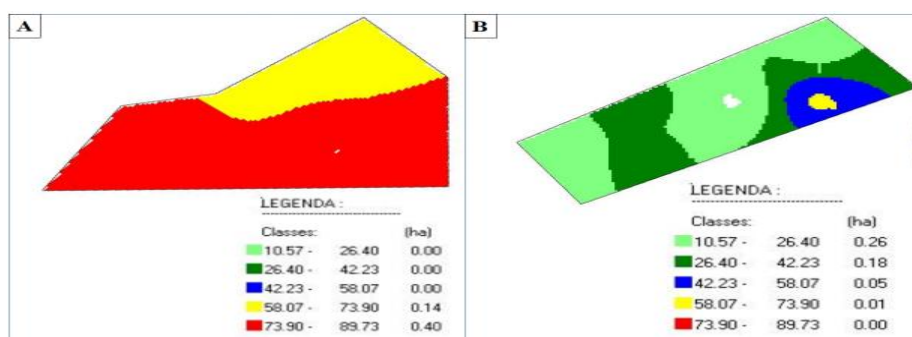
A elevação do solo (Figura 5), condição esperada que seja o mínimo possível para solos que não terão mais revolvimento, se tornando em sistema plantio direto, é visível variabilidade deste parâmetro em ambos subsoladores, variando de 350,84 - 1819,19 cm<sup>2</sup> para o CMc, distinguindo do CMD que variou de 350,84-2186,28 cm<sup>2</sup>, valor maior que área mobilizada, isto é função da elevação que houve em todo perfil de solo. O CMc representou na classe 1 (350,84-717,93 cm<sup>2</sup>) 0,16 ha totalizando 31,37%, contra 1,96% do CMD, sendo que a maior elevação de solo nesse manejo foi na classe 3 (1085,02-1452,1 cm<sup>2</sup>) representando 42% da área, nessa classe, o CMc foi 23,6%. O desvio padrão desse parâmetro foi 8,569 para o CMc, contra 9,049 do CMD, indicando variação da média próxima entre os subsoladores. Colaborando com os estudos de (Alves, 2017) onde encontrou valores similares para o subsolador convencional entre 590 a 1850 cm<sup>2</sup>, já para o CMD encontrou valores inferior ao estudo entre 275 a 1220 cm<sup>2</sup>, demonstrando que o equipamento aumentou a rugosidade da superfície do solo, podendo dificultar os próximos manejos.





**Figura 5. Área de solo elevado (cm<sup>2</sup>) pelos subsoladores (A) subsolador convencional (CMc); (B) subsolador dotado de disco e rolo (CMd)**

No que se refere a incorporação de palha, o CMc apresentou as maiores incorporação de palha, variando de 58,07-89,73%, contra 10,57-73,90% do CMd. O subsolador convencional gerou maior incorporação de palha concentrando 78,43% da área na classe 5 (73,90-89,73%), contra 2%, tal fato mostra ação dos elementos adicionais do subsolador usado no CMd, no corte da palha. Concordando com este estudo, (Santos et al.,2014; Alves et al.,2017), obtiveram valores similares para subsoladores com mesmas configurações, no qual o subsolador dotado de disco e rolo destorroador apresentaram menor incorporação de palhada.



**Figura 6. Palha incorporada (%) pelos subsoladores (A) subsolador 1 convencional (CMc); (B) subsolador 2 dotado de disco e rolo (CMd)**

A cobertura superficial é importante para proteção do solo contra compactação provocada pela chuva, bem como, contra a perda de umidade provocada pelo sol em determinada

estação (Alves et al., 2017), o que gera redução de plantas daninhas e ajuda na manutenção dos nutrientes e microrganismos necessários para atividade biológica do solo.

## CONCLUSÕES

Os subsoladores convencionais e com disco de corte de palha e rolo destorroador apresentaram variação na mobilização e elevação de solo, contudo, o subsolador com disco gerou baixa incorporação de palha ao solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A.; CANCIAN, C. A.; RAFAIN, E. F.; SHAURIG, M.; ROSA, D. P. 2017. *Técnicas de agricultura de precisão para qualificar a mobilização superficial de subsoladores*. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. 2006 *Infiltração de água no solo*. Editora UFV, Viçosa, 120p.
- CARVALHO FILHO, A.; BONACIM, J. L.G.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C. 2008. *Mobilização de um Latossolo Vermelho Acriférrico em função de sistemas de preparo do solo*. Uberlândia. Biosci. J. v. 24, p. 1-7.
- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. 2007. *Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.D.; REINERT, D.J. 2008. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Org.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5: 49-134.
- ROSA, D. P.; SPADOTTO, D. ; FINCATTO, D. ; PESINI, F. ; ZENI, R. 2016. *Plantar descompactando*. Cultivar Máquinas, v. 16, p. 40-42.
- SANTOS, C.C.; ROSA, D.P.; PAGNUSSAT, L.; PESINI, F; FINCATTO, D. 2014. *Subsolador com disco de corte de palha x subsolador convencional: manutenção da palha e condição física de um solo sob plantio direto*. Revista de Agronomia e Veterinária IDEAU, v1.

SOIL SURVEY STAFF. 2013. *Keys to Soil Taxonomy*. 13 th ed. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. D.; SCHNEIDER, P.; PINTO, L. F. S. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. UFRGS: EMATER/RS-ASCAR.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M.; BARRICELO, L. G.; SILVA, R. P. 2013. Orígenes, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. RESR, Piracicaba-SP, Vol. 51, Nº 4, p. 719-744.

## MAPEAMENTO DE POTENCIAIS ÁREAS MECANIZÁVEIS PARA CAFEICULTURA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**Claudia Daza Andrade<sup>1</sup>, João Paulo Barreto Cunha<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Professor (a), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Brasil, Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia, Rod. BR 465, Km 7, CEP 23890-000. (+55) 21 37873750. E-mail: dazaclau@gmail.com, engbarretocunha@gmail.com

**RESUMO:** O café é um produto importante nas exportações brasileiras, sendo o país o maior produtor e o segundo maior consumidor deste produto. De uma maneira geral, a potencialidade para uso de sistemas mecanizados passa pela identificação de áreas com declividade adequada. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo mapear as áreas cafeeiras potencialmente mecanizáveis na região do vale do Paraíba no Estado do Rio de Janeiro. O mapeamento foi feito em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) exibindo áreas com diferentes declividades na região de estudo. Dessa maneira foram verificadas áreas que apresentam potencial quanto à declividade necessária para a mecanização da colheita de café, reduzindo assim o tempo e otimizando os serviços. É possível concluir que mais do 65% da área da região estudada apresenta declividades menores do que 25% sendo áreas classificadas como aptas à mecanização ou aptas ao sistema de manejo e colheita mecanizada do café.

**PALAVRAS-CHAVE:** SIG, Máquinas agrícolas, Declividade, Coffea Arábica.

### MAPPING OF POTENTIAL MECHANIZABLE AREAS FOR COFFEE IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO

**ABSTRACT:** Coffee is an important product in Brazilian exports, the country being the largest producer and the second largest consumer of this product. In general, a potentiality for the use of mechanized systems passes through the identification of areas with slope. In this sense, this work aims to map as potentially mechanizable coffee areas in the Paraíba valley region in the

State of Rio de Janeiro. The mapping was done in the GIS (Geographic Information System) environment, showing with different slopes in the study region. In this way, potential areas with slope necessary for the mechanization of the coffee crop were verified, thus reducing the time and optimizing the services. It is possible to conclude that more than 65% of the area of the studied region presents declivities lower than 25%, being areas classified as apt for mechanization or suitable for mechanized management and harvest system of coffee.

**KEYWORDS:** SIG, Agricultural machinery, Slope, Coffea Arabica.

## INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira vem passando por momentos de transição em que o processo de colheita migra do sistema manual para o sistema mecanizado, prática cujos benefícios técnicos e econômicos se comprovam a cada safra, como alternativa técnica e operacional (SILVA et al., 2011).

A mecanização como ferramenta de produção, permite maior viabilidade das lavouras cafeeiras, e atualmente depende principalmente da redução dos custos. De uma maneira geral, o planejamento operacional das atividades tem por objetivo estabelecer alternativas que propiciem o cumprimento das metas de produção determinadas por um planejamento global, e por meio do desempenho operacional das máquinas e equipamentos utilizados na colheita.

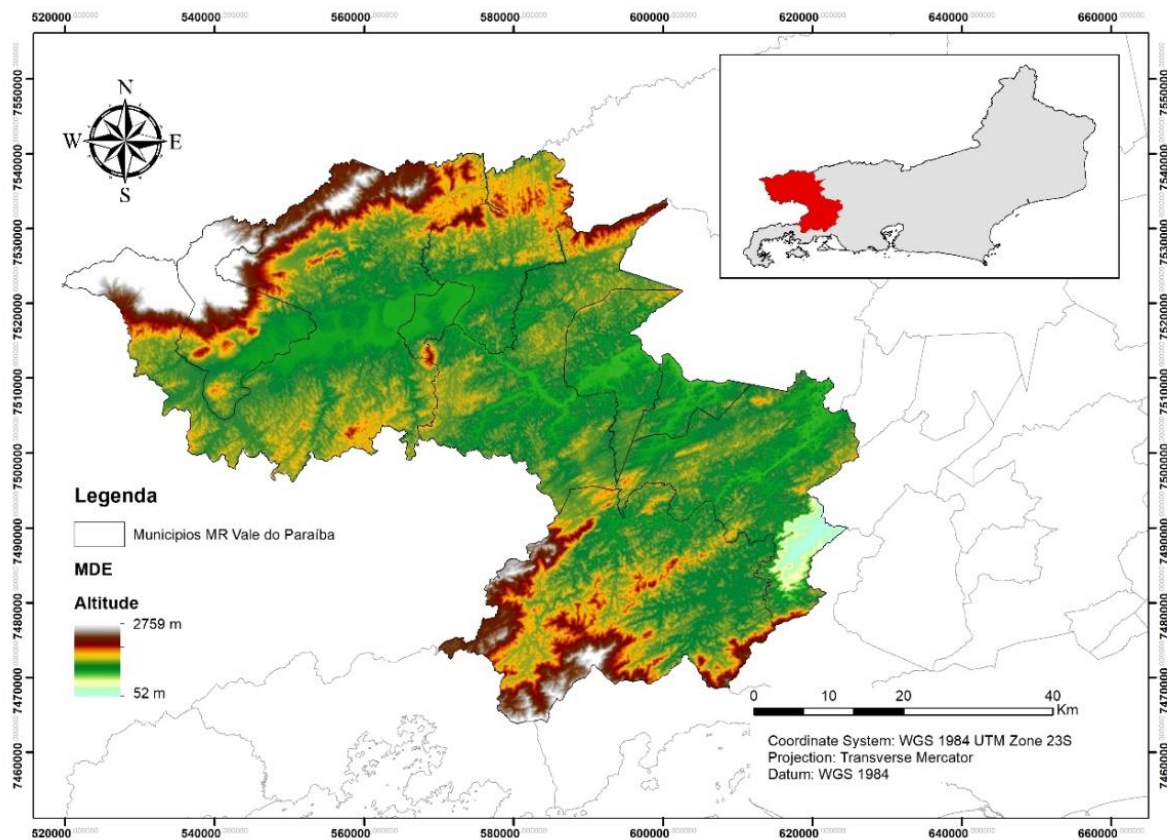
Atrelado a isso, o uso de Sistemas de informação Geográfica (SIG) e técnicas de sensoriamento remoto, auxiliam no mapeamento de áreas potenciais para produção de café, por meio da combinação de diferentes fatores como declividade, tipo de solo, uso e cobertura entre outros, nesse sentido, com ajuda dessas ferramentas, poder-se-ia definir com maior facilidade as áreas a serem estudadas mais detalhadamente por meio de um planejamento técnico e econômico (GASS & MONTARDO, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou mapear a declividade do território do Vale do Paraíba, região Sul Fluminense, com vistas a quantificar o total da área com potencial para adoção de sistemas mecanizados na produção cafeeira.

## MATERIAL E MÉTODOS

De uma maneira geral, o estado do Rio de Janeiro apresenta regiões próprias para a produção de café, sendo o Vale do Paraíba uma dessas regiões. Localizado na Mesorregião Sul Fluminense, a região já foi conhecida como o Vale do Café, a localização é apresentada na Figura 1.

O clima da região é do tipo Cwa, pela classificação de Köppen, indicando clima quente e úmido, com inverno seco e média de temperatura em torno de 20° C, e precipitação anual atingindo 1500 mm. O solo predominantemente da região é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013).



**Figura 1. Mapa de localização da área de estudo – Vale do Paraíba Fluminense.**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas imagens do projeto TOPODATA, derivados do processo de refinamento das imagens Shuttle Radar Topography Mission

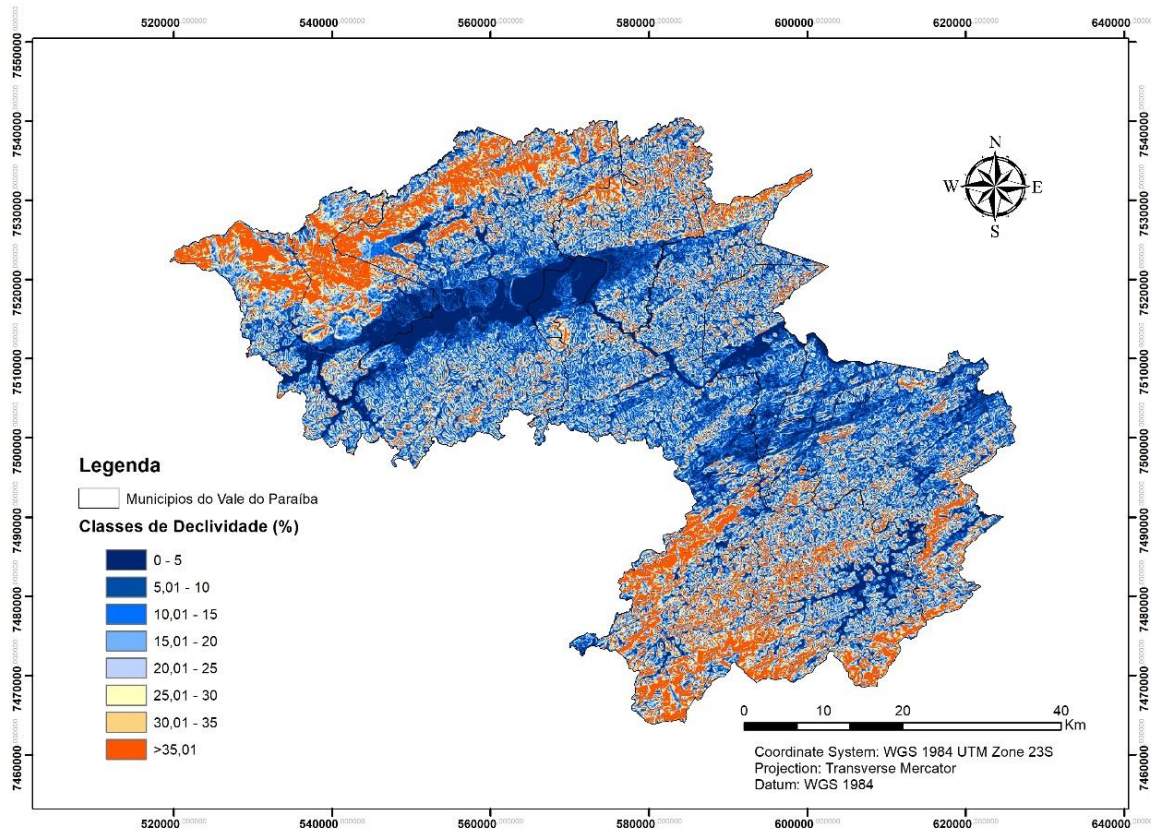
(SRTM), correspondentes ao Estado do Rio de Janeiro. O primeiro passo foi a delimitação da área de estudo e obtenção do modelo digital de elevação (MDE), posteriormente foi obtido o mapa de declividades em porcentagem no software ArcGis 10.0 com a ferramenta Slope.

Com a imagem da área de estudo já adquirida foi criada uma grade numérica de declividade em porcentagem (a declividade pode ser representada também em graus, sendo 45° equivalente a 100% de declividade). Posteriormente, foram divididos os intervalos de declividade levando em consideração os valores mínimos e máximos da grade criada e as declividades máximas de alcance para mecanização, possibilitando o melhor estabelecimento dos intervalos de declividade. Por fim foi realizada um reclassificação do modelo para contabilizar as áreas das classes de declividades.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As declividades foram fatiadas em intervalos de 5% com valores compreendidos entre 0 e 35%. Os resultados obtidos mostraram potencialidade para a mecanização da colheita. O mapa da Figura 2 apresenta a distribuição das classes de declividade na região do Vale do Paraíba Fluminense. Observa-se que mais de 50% da área do território apresenta declividades menores do que 20%, o que representa um panorama ótimo para o cultivo agrícola e a mecanização na agricultura.





**Figura 2. Mapa de declividade da região do Vale do Paraíba Fluminense - Rio de Janeiro.**

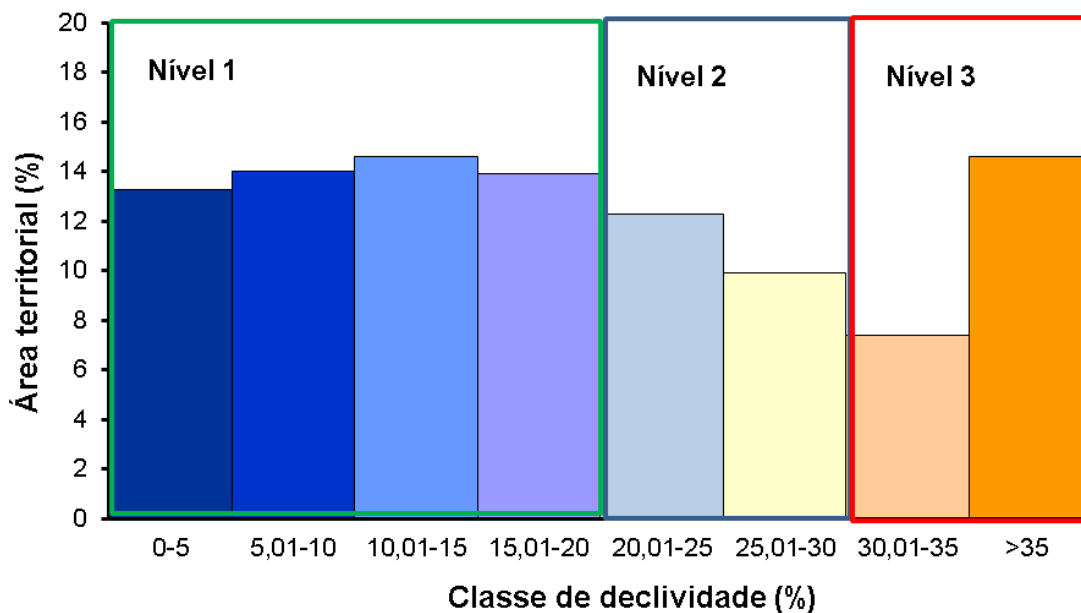
Pensar na potencialidade do Sul Fluminense em termos agrícolas, principalmente na cultura do café, é remeter a uma região que durante décadas foi responsável por quase toda produção nacional deste produto. Com a especulação e migração para outras atividades, principalmente a pecuária de corte e de leite, produção de orgânicos e silvicultura.

O gráfico apresentado na Figura 3 demonstra o resultado da distribuição, em porcentagem, das áreas territoriais da região estudada, em função da classe de declividade, considerando o levantamento do SRTM.

Segundo Silva et al (2010) e Hofig & Araújo Júnior (2015) a mecanização do café está diretamente relacionada com a declividade das áreas exploradas e níveis tecnológicos dos produtores. Os mesmos autores consideram áreas extremamente aptas aquelas com



declividades de até 20%, cuja representação encontram-se no nível 1 da Figura 3, o que representa 55,8% do território Sul Fluminense. Dessa maneira o uso de conjuntos mecanizados não sofre nenhum tipo de limitação, permitindo assim mecanizar todo o processo de produção, ou seja, do transplântio até as operações de colheita.



**Figura 3. Distribuição de frequência das classes de declividade na região Sul Fluminense, RJ.**

Observa-se que no nível 2 encontram-se as áreas compreendidas entre as declividades de 20 a 30%, o que representa 22,2% de todo território. Tais áreas são passíveis de serem mecanizadas em determinados processos, permitindo o manejo das lavouras sem limitações e a colheita mecanizada utilizando determinados modelos de colhedoras encontradas no mercado. Segundo Leite et al (2014) mesmo sendo possível mecanizar essas máquinas tendem a apresentar eficiências operacionais menores, refletindo diretamente no tempo de operação, devido a maior declividade.

Com relação ao nível três, estão áreas com declividades acima de 30% o que faz com que haja limitações quanto ao uso de tratores e principalmente colhedoras, totalizando 22% das

áreas da região. Segundo Leite et al. (2010) as colhedoras sofrem de forma mais acentuada os efeitos da declividade por possuírem elevado centro de gravidade e baricentro, aumentando e muito riscos de tombamento.

### CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos, é possível concluir que a região apresenta boa aptidão para cultivos agrícolas e a atuação de máquinas agrícolas no plantio, manejo e colheita.

No caso específico do café, é possível recomendar a atividade de forma mecanizada em uma declividade de até 30%. Logo, conclui-se que 78% da área estudada enquadra-se como área apta à mecanização, sendo totalmente ou parcialmente apta ao sistema de manejo e colheita mecanizada do café.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2013. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro Embrapa Solos. 3 ed. 353 p.

GASS, S. L. B.; MONTARDO, D. K. 2007. Contribuição ao planejamento territorial municipal subsidiada por diagnósticos do meio físico: os exemplos dos planos diretores participativos de Santa Rosa e Panambi, RS. In: *Anais...XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Natal.

HÖFIG, P.; ARAUJO JÚNIOR, C. F. 2015. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. *Coffee Science*, v.10, p.195-203.

LEITE, F.; SANTOS, J. E. G. dos; LANÇAS, K. P. 2010. Construção e calibração de um inclinômetro para uso em tratores agrícolas como instrumento de segurança. *Energia na Agricultura*, v.25, p.40-51.

LEITE, E. da S.; MINETTI, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P. de; AMARAL, E. J. do; LACERDA, E. das G. 2014. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. *Revista Árvore*, v.38, p.1-6.

SILVA, F. M. da; CARVALHO, G. R. 2011. Evolução da mecanização na cafeicultura. *Informe Agropecuario*, v.32, p.52-65.

SILVA, F. M. da; REZENDE, F. A.; ALVES, H. M. R.; ALVES, M. C.; MOREIRA, M. A.; SILVA, A. C. 2010. Potencialidade de mecanização da região Sul e Sudoeste de Minas Gerais, visando a lavoura cafeeira. In: Simpósio Mecanização da Lavoura Cafeeira, 10. Três Pontas. Anais... Lavras: UFLA/DEG, p.73-80.

## ANÁLISIS MECÁNICO Y GEOMÉTRICO DEL DISEÑO DE UNA MAQUINA QUEBRADORA DE NUEZ DE MACADAMIA.

**Rafael Martínez Munguía<sup>1</sup>; Carlos Juárez González; Juan Antonio Sánchez Rentería**

(1) Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México – Texcoco. Km 38.5. Chapingo, Estado de México. CP. 56230.

[rafa.mtz16@gmail.com](mailto:rafa.mtz16@gmail.com)

### RESUMEN

En el presente trabajo se propone y se analizan los argumentos geométricos y mecánicos bajo los cuales se definirán, posteriormente, los parámetros de diseño para construir una quebradora de nuez de macadamia. el trabajo comienza desde la investigación de las características de la nuez, pasando por etapas de descripción organoléptica y geométrica, hasta llegar a la etapa de quebrado y, finalmente, se genera la propuesta de un diseño con un mecanismo fácil y sencillo, pero eficaz, él diseño se basa en un mecanismo de cuatro barras el cual se analiza con ayuda de softwares para poder evaluar el comportamiento y desempeño del mecanismo, así como también algunos otros aspectos como la velocidad y aspectos geométricos tanto de la máquina ,así como también de la nuez.

en el desarrollo del trabajo se investigaron los diferentes diseños que existen en el mercado, se analizaron sus ventajas y desventajas, y algunos aspectos que sirvieron para el desarrollo de nuestro mecanismo, a lo largo del proceso se pensó en diferentes opciones de diseño y luego con ayuda de la metodología de diseño y apoyándonos de la taxonomía de Bloom elegimos un diseño, que se enfoca en el desarrollo del mecanismo, eficiente y económico enfocado a pequeños productores de nuez que la mayoría de las veces venden su producto a muy bajo costo ,al no tener acceso a la maquinaria que es de muy alta inversión, por eso la necesidad de realizar un diseño que contribuya al productor a darle valor agregado a la nuez.

**Palabras clave:** análisis, investigación, diseño.

## INTRODUCCIÓN

Como sabemos, en la industria alimenticia es muy usual el uso de equipos para la elaboración y extracción de productos con el fin de facilitar un trabajo específico y optimizar tiempos de producción, con ese fin es creado el mecanismo para compactar y extraer la nuez de la macadamia. Hay muchos mecanismo para compactar y extraer la nuez, pero en nuestro caso realizamos el diseño de un mecanismo capaz de realizar la actividad siendo operada manualmente que es realmente práctico, con un diseño capaz de ser ligero y que tenga un bajo costo de producción, para realizar el diseño hemos considerado muchos aspectos importantes, como lo son las características geométricas de la nuez, las condiciones de humedad de las mismas y revisamos algunas normas con las que hay que cumplir para el quebrado de estas, hemos definido algunos prototipos para el quebrado por medio de compactación, el uso que estos tienen, las ventajas de su uso, los criterios para la selección de un diseño, las limitaciones que estos tienen en el proyecto. se plantea poder realizar el diseño, análisis y poder construir un mecanismo que sea capaz de quebrar la nuez de macadamia tratando de cumplir con las diferentes normas que existen para el quebrado de la nuez, en el desarrollo del trabajo se investigaron los diferentes diseños que existen en la actualidad y se analizaron sus ventajas y desventajas a grandes rasgo ,costos y algunos otros aspectos que nos sirvieron para el desarrollo de nuestro mecanismo, a lo largo del proceso se pensó en diferentes opciones de diseño y luego con ayuda de la metodología de diseño y apoyándonos de la taxonomía de Bloom para resolver problemas elegimos el prototipo que creemos que cumple con las características deseadas.

Comenzamos con una descripción de nuestro prototipo, luego definimos nuestras variables de diseño, realizamos un análisis detallado del mecanismo con ayuda del software que en este caso fue MATLAB, así como también hicimos uso de SOLID WORKS para simular los diferentes diseños para finalmente llevar a cabo nuestro diseño y construir un prototipo llevándolo hasta el proceso de manufactura.

La idea del diseño de este mecanismo surge ya que la nuez de macadamia forma parte de lo que se ha dado en llamar cultivos no tradicionales o exóticos, es por esto que hemos decidido optar por un diseño de maquinaria agrícola para los pequeños y nuevos productores de este producto, una de las necesidades de la mayoría de los productores es el poco mercado que pueden encontrar para vender sus nueces con cáscara el problema de muchos de estos es la falta de maquinaria para poderle darle a la nuez el valor agregado del descascarado y este implica dar un paso hacia adelante en la cadena de valor de la nuez, además de poder encontrar más mercado para está, Su actual diversificación en distintos países del mundo, es un reflejo del gran potencial comercial que comienza a consolidarse. Baste decir que Estados Unidos y China son de los mayores importadores de macadamia en el mundo.

### **METODOLOGIA**

Para poder realizar la propuesta del diseño de mecanismo para compactar y extraer la nuez de la macadamia, es necesario conocer sus características, por lo que se realizó un pequeño análisis de dimensiones y algunas pruebas que se realizaron a la nuez de macadamia además de algunos datos que se encontraron en literatura consultada.

Las muestras analizadas fueron provenientes del estado de Veracruz y pertenecen a la variedad *Macadamia integrifolia* cuya característica es que producen un fruto grande con pericarpio rojizo. Existe otra variedad muy conocida que es la *Macadamia tetraphylla*. En primer lugar, un lote de muestra representativa fue descrito geométricamente para evidenciar una característica común en todos los especímenes, y que a su vez permita estandarizar la apertura de quebrado del dispositivo. Posteriormente, se midieron los diámetros de las nueces en diferentes alineaciones con respecto a los ejes cartesianos para ponderar cuantitativamente su tamaño. Finalmente, los especímenes se sometieron a ensayos de compresión en diferentes alineaciones debido a que la nuez presenta un surco característico que aminora las propiedades mecánicas de la estructura del endocarpio. Hipotéticamente, el punto de ruptura debería corresponder a una carga aplicada mínima cuando el surco se encuentra alineado longitudinalmente a esta, gracias a esta característica que notamos en la nuez tomamos en cuenta para realizar nuestro diseño.

## IDEACIÓN E INVENCIÓN.

Ahora comenzamos a generar ideas para nuestro mecanismo, como descubrimos en la investigación preliminar, la mayoría de las máquinas para quebrar nuez encierran la nuez en un compartimento para luego ser aplastadas por las paredes que se encuentran a los lados. Las nueces son colocadas en un contenedor con un elevador que las levanta de una por una para meterlas en el compartimento donde son quebradas. Generamos diferentes ideas llegando a la que creímos mas confiable para nuestro uso.

- Dos cilindros colocados de manera paralela y engranados para lograr un giro contrario entre ellos con una separación donde pueda entrar una nuez, pero no por completo donde será forzada a pasar por el momento generado al girar los engranes hasta romperse. Usar una palanca para generar el momento necesario.

Todas nuestras ideas estuvieron alrededor de las anteriores, solo discutíamos cuestiones como, con esta máquina ¿lograremos la fuerza necesaria para romper la nuez?, ¿llevará un motor?, ¿podremos obtener el material necesario?, ¿funcionará?, etc. Así que con ayuda de la taxonomía de Bloom evaluamos las diferentes opciones.

## ANÁLISIS

Comenzando a analizar nuestras propuestas, concluimos que se resumían en el diseño de una máquina que quiebre la nuez de macadamia sin causar daños significativos al endospermo y que trabaje a compresión, habiendo tres formas de hacerlo, analizando la geometría de la nuez de macadamia (figura 1), se muestran en la figura 2 en la cual la posición a) se refiere poner la nuez vertical sobre los polos y paralela a la compresión aplicada, b) eje horizontal a los polos y perpendicular a la compresión y c) con los polos en el eje horizontal y la grieta sobre un costado.

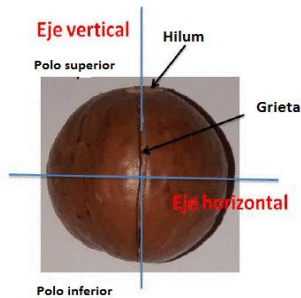


Figura 1. Geometría de la

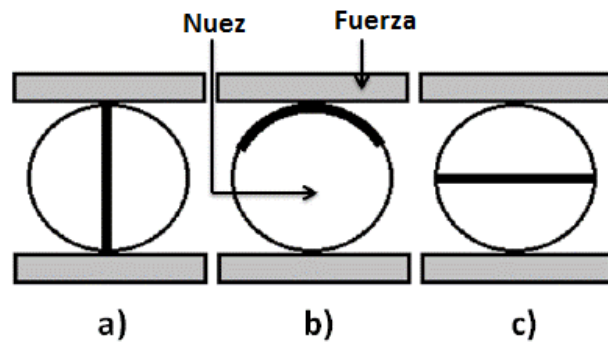


Figura 2. Compresión de la nuez

**RESULTADOS DE PRUEBA DE COMPRESIÓN EN NUEZ DE MACADAMIA**

Posición	Fuerza Máxima (N).	Desviación estándar (N).	Desplazamiento de la fuerza máxima (mm)	Desviación estándar (mm)
1	2499.6	592.128	0.6016	1.9164
2	1762.1	599.930	1.4514	0.7140
3	3939.1	426.694	2.8312	0.4244

Figura 3. Resultados de pruebas de compresión nueces en tres posiciones.

Para saber qué posición es más fácil de conservarse realizaron varias pruebas, colocamos algunas nueces sobre el suelo plano y aplicamos una fuerza y observamos que todas quedaban en la posición 2. Además, consultamos la tabla de la figura 3 donde se muestran valores de pruebas de compresión que se realizaron anteriormente por alumnos del IPN en Julio de 2016, en las tres posiciones de la figura 3. En la tabla se observa que la posición dos es la más conveniente para romper la nuez porque se necesita menos fuerza para hacerlo. Para corroborar los datos, partimos varias nueces con ayuda de un martillo en las posiciones a), b)



y c) y, además de darnos cuenta que en las posiciones a) y c) son difícil aplicar la fuerza, en la posición b) se obtienen mejores resultados.

El problema lo resolvimos con un mecanismo de cuatro barras, que al hacer el análisis de su velocidad en MATLAB mediante un programa (cuyo código se anexa al final) para analizar posición y velocidad de un mecanismo de cuatro barras mediante ecuaciones de lazo vectorial, observamos lo siguiente:

En la figura 4 y 5 la flecha roja delgada es el eslabón 2 o eslabón motriz, la flecha verde delgada es el eslabón 3 o acoplador y la flecha azul delgada es el eslabón 4 o de salida.

Las flechas gruesas representan la magnitud, direcciones y sentidos de las velocidades de los puntos de donde parte, con una velocidad angular constante del eslabón 2. Así  $V_A$  es la velocidad del punto A con respecto a un punto fijo  $O_2$ .  $V_{BA}$  es la velocidad del punto B con respecto a un punto que está en movimiento, el punto A.  $V_B$  es la velocidad del punto B con respecto a un punto fijo  $O_4$ .

El círculo punteado representa la trayectoria del punto B. En esta trayectoria donde los puntos están más separados significa que se movió más distancia es decir su velocidad es mayor, por lo tanto, donde parecen formar una línea la velocidad es mínima.

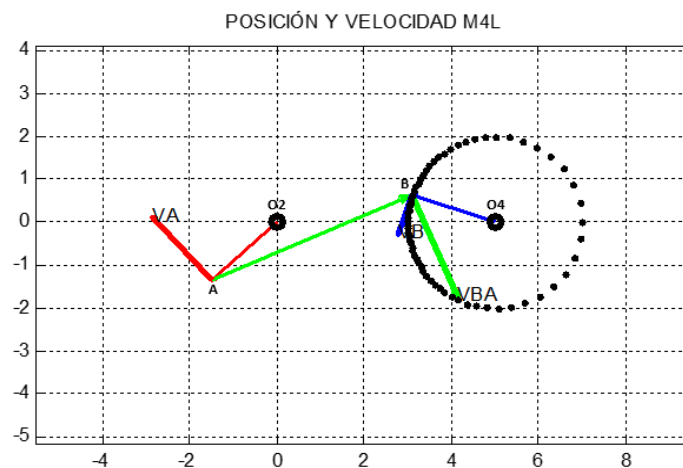


Figura 4. Análisis de posición y velocidad para un mecanismo de 4 barras.

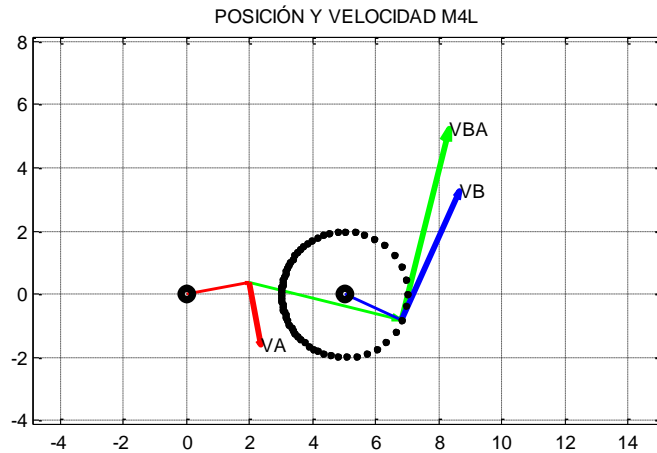


Figura 5.

Tanto las líneas VB y VBA son de tamaño pequeño en comparación de las de la figura 4 en la posición donde los puntos están más separados.

El análisis nos lleva a saber sería conveniente utilizar un mecanismo que intercambie velocidad por fuerza y la respuesta es un **mecanismo de 4 barras disfrazado en un tren de engranaje**.

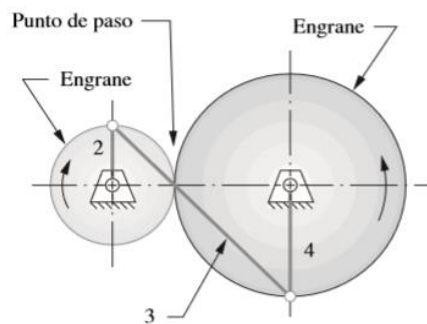


Figura 6. Tren de engranes

En la figura 6 vemos que efectivamente en un tren de engranes se encuentra disfrazado un mecanismo articulado de 4 barras.

Como hemos visto para que al menos uno de los eslabones de un mecanismo de 4 barras pueda girar  $360^\circ$  grados se debe cumplir la condición Grashof, pero en este caso necesitamos que dos eslabones giren  $360^\circ$  por ello se ocupa el caso especial de Grashof en el que la suma de la medida de los eslabones pequeño y grande es igual a la suma de otros dos eslabones, en este caso que eslabones  $2+3=1+4$ , con el cual se puede tener un mecanismo doble manivela, controlando las denominadas configuraciones inciertas, posiciones donde no se puede predecir el movimiento de los eslabones, cuando quedan colineales, y esto lo controla el engranaje.

## DISEÑO DETALLADO

Durante el proceso de investigación se encontró en el ámbito comercial que la forma más apreciada y de mayor precio de la macadamia es aquella donde la almendra se conserva íntegra. Las quebradoras comerciales utilizadas para dejar libre la almendra de la cáscara sólo dejan cierto porcentaje de la nuez intacta y otros porcentajes con la almendra fracturada en distintos grados (identificados comercialmente como “estilos”). Una quebradora idealmente debe de producir un 80% de nuez quebrada, un máximo de 15% de nueces no quebradas y un máximo de 5% de nueces parcialmente quebradas y, las condiciones propicias de quebrado de la nuez, se deben llevar a cabo a condiciones de humedad del 4% para la almendra.

Se encontró que existe una norma nacional y americana de calidad al descascarar la nuez en rigor la Norma Mexicana “NMX-FF-093-1996 productos alimenticios para consumo humano. Fruto fresco. Nuez descascarada y la norma americana (1969 y 1976) si se pretende exportar, estableciendo las especificaciones mínimas que debe cumplir la nuez descascarada de esta variedad se dividen en 6 tipos dentro de 2 categorías.

Para nuestro caso también realizamos un sondeo de macadamia realizando mediciones de la nuez, para ello las clasificamos en 3 tamaños y obtuvimos las siguientes medidas promedio;

Tabla. Diámetro promedio		
Clasificación	Media(mm)	Desviación estándar
Chica	26.5	0.51
Mediana	28.10	0.53
Grande	29.8	0.67
General	28.5	1.323

En esta tabla se puede apreciar, que la clasificación de la nuez puede incidir para que la quebradora tenga un tamaño de apertura regulable. Esperamos en las pruebas observar que tanto es la incidencia de estas variaciones.

Puesto que los engranes no los podemos hacer, tuvimos que conseguirlos y a partir de sus medidas realizar los demás cálculos. Teniendo los dos engranes para el tren de engranaje identificamos las medidas de los eslabones:

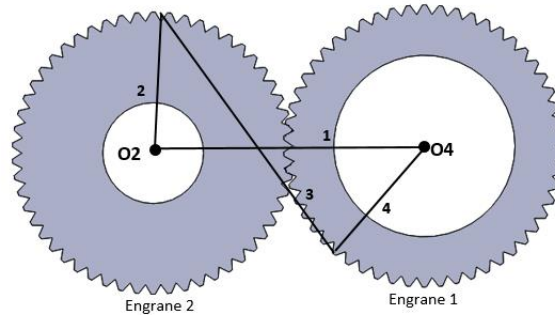
Eslabón **1=70mm**

Eslabón **2=35mm**

Eslabón **4=35mm**

Eslabón **3=70mm** (Debido a que la suma de los eslabones 1 y 2 debe ser igual a la suma de los eslabones 3 y 4.

En el cual los diámetros exteriores de los engranes son de 70mm, los puntos **O2** y **O4** son los puntos fijos(ejes). Entonces puesto que es un mecanismo doble manivela se tiene que cumplir la condición especial de Grashof;



$$S+L=Q+P$$

Figura 7. Mecanismo de cuatro barras disfrazado en un tren de engranaje, que es utilizado en la máquina.

Estas medidas las sustituimos nuevamente en el programa de MATLAB (anexo) para observar la trayectoria y que efectivamente el mecanismo puede tener dos giros de 360°.

### RESULTADO

Como resultado del análisis de los datos obtenidos y las pruebas realizadas se llegó a el diseño de este mecanismo que llego a ser hasta en un 48% eficiente de acuerdo con las normas tomadas en cuenta se llegó a que el engrane 1 tiene un diámetro interior de **42mm** y el engrane 2 un diámetro interior de **36 mm**, entonces al poner un tubo en cada engrane, se tiene un espacio libre entre ellos de;

$$d=70 - \frac{42}{2} - \frac{36}{2} = \mathbf{31mm}$$

En este espacio de 31 mm es el espacio que se tiene disponible para acomodar un arreglo en los tubos para poder acomodar una nuez, que no pase por completo, pueda y se aprovechen las fuerzas provocadas por la palanca a través de los engranes. Para hacerlo se cuenta con un tubo de 26 cm de largo, (de un extremo un diámetro de 36 mm y del otro 25mm, el cambio de diámetro está a 3 cm del extremo), que se obtuvo junto con los engranes de carros y que está rayado de manera paralela a su longitud con un grosor de aproximadamente 2 mm y 10 cm de largo, como en la figura 8, y que embona perfectamente en el engrane 2.

Por lo tanto, solo falta un tubo, la medida elegida es de 1 ¼ de pulgada (42,2mm) que para hacerlo pasar en el engrane 1 de diámetro interior 42 mm, se tendrán que desbastar con ayuda de un torno. Este tubo lleva los compartimentos para mantener a la nuez en posición para aplicar la fuerza de compresión, se hará con ángulos de acero de ½ pulgada cortados en tramos de 10 cm de longitud puesto que es la longitud aprovechable del otro tubo (9), y serán soldados 6 de ellos sobre la superficie del tubo de 1 ¼ de pulgada con el ángulo hacia afuera, como se muestra en la figura 10, Tendremos así  $27.5 \text{ mm} - 3 \text{ mm} = 24.5 \text{ mm}$  de espacio libre, que lo comparamos con la medida promedio de diámetro de nueces chicas en la tabla “Diámetro promedio” que es de **26.5 mm** y concluimos que es una distancia teórica buena para garantizar el funcionamiento del mecanismo.

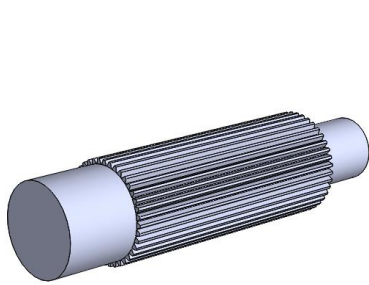


Figura 8. Tubo no.1 de mecanismo

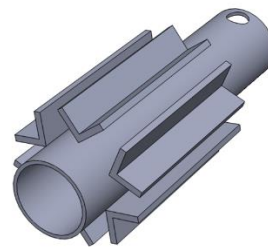


Figura 9. Tubo no.2 de mecanismo

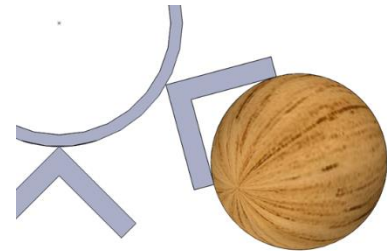


Figura 8. Demostración de acanalamiento en tubo 2

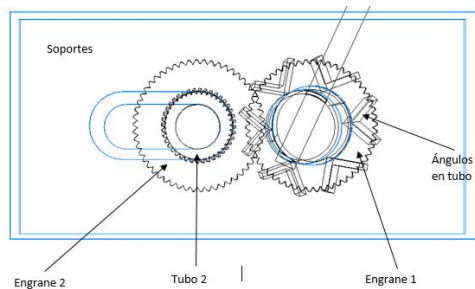
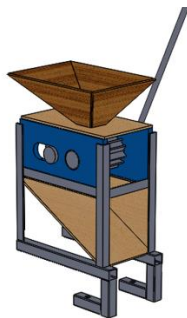


Figura 8. Ensamblaje

## FUENTES DE CONSULTA

[1] Asociación Mexicana de Productores, Procesadores y Exportadores de Nuez de Macadamia A.C., MACA MEXA.C., Disponible en: <http://www.macadamiademexico.com>

[2] G.S. Quintas, Manual técnico para productores de nuez de macadamia, Guía de siembra, manejo y procesamiento. México 2011. Disponible en: <http://www.macadamiademexico.com>

[3] Y. Sarig, F.Grosz, S. Rasis, "The Development of a Mechanical Cracker for Macadamia Nuts, J. agric. Engng Res.25, pp 367-374. 1980.

[4] G.C. Braga, S.M. Couto, T. Hara, J.T. Almeida Neto, "Mechanical Behaviour of Macadamia Nut under Compression Loading", J. Agric. Engng Res, 72, pp 239-245. 1999.

## ANEXOS

Código MATLAB para analizar posición y velocidad en el mecanismo de 4 barras:

```
clear all
a=2; b=5; c=2; d=5; w2=-1;%(Velocidad angular)
Con=1;
while(1)%Ciclo infinito
for teta2=2*pi:-0.1:0
%Calculo de constantes
K1=d/a; K2=d/c; K3=(a^2-b^2+c^2+d^2)/(2*a*c); K4=d/b; K5=(c^2-d^2-a^2-b^2)/(2*a*b);
%Donde
A=(cos(teta2))-K1-(K2*cos(teta2))+ K3;
B=-2*sin(teta2);
C=K1-((K2+1)*cos(teta2))+ K3;
D=(cos(teta2))-K1+(K4*cos(teta2))+ K5;
E=-2*sin(teta2);
F=K1+((K4-1)*cos(teta2))+ K5;
J1=B^2-(4*A*C);%Raiz
J2=E^2-(4*D*F);%Raiz
%Cálculo de los ángulos
if teta2<=pi
tetha4=(2*atan((-B+sqrt(J1))/(2*A)));
tetha3=(2*atan((-E+sqrt(J2))/(2*D)));
else
tetha4=(2*atan((-B-sqrt(J1))/(2*A)));
tetha3=(2*atan((-E-sqrt(J2))/(2*D)));
end
%Cálculo de las coordenadas
Ax=a*cos(teta2); Ay=a*sin(teta2);
Bx=b*cos(tetha3); By=b*sin(tetha3);
Cx=c*cos(tetha4); Cy=c*sin(tetha4);
Trax(Con)=Bx+Ax; Tray(Con)=By+Ay;
%Cálculo de velocidades angulares
```

```

w3=(a*w2*sin(tetha4-teta2))/(b*sin(tetha3-tetha4));
w4=(a*w2*sin(teta2-tetha3))/(c*sin(tetha4-tetha3));
%Vectores velocidad
VAX=-a*w2*sin(teta2); VAY=a*w2*cos(teta2);
VBAX=-b*w3*sin(tetha3); VBAY=b*w3*cos(tetha3);
VBX=-c*w4*sin(tetha4); VBY=c*w4*cos(tetha4);
%Letretos
V=num2str(tetha4*180/pi); V2=num2str(tetha3*180/pi);
V3=num2str(teta2*180/pi); V4=num2str(w2); V5=num2str(w3); V6=num2str(w4);
%Gráficas
quiver(0,0,Ax,Ay,0,'r','Linewidth',2)%Eslabón 2
hold on
%Parte 1
quiver(Ax,Ay,Bx,By,0,'g','Linewidth',2)%Eslabón 3
quiver(d,0,Cx,Cy,0,'b','Linewidth',2)%Eslabón 4
quiver(Ax,Ay,VAX,VAY,0,'r','Linewidth',3);%Velocidad del punto A
text(Ax+VAX,Ay+VAY,'VA');
quiver(Ax+Bx,Ay+By,VBAX,VBAY,0,'g','Linewidth',3);%Velocidad del punto B
con respecto a A
text(Ax+Bx+VBAX,Ay+By+VBAY,'VBA');
quiver(d+Cx,Cy,VBX,VBY,0,'b','Linewidth',3);%Velocidad del punto B
text(d+Cx+VBX,Cy+VBY,'VB');
text(-3,8,'Teta2='); text(-1,8,V3); text(10,8,'W2= rad/s');
text(12,8,V4);
text(-3,6,'Teta3='); text(-1,6,V2); text(10,6,'W3= rad/s');
text(12,6,V5);
text(-3,4,'Teta4='); text(-1,4,V); text(10,4,'W4= rad/s');
text(12,4,V6);
plot(0,0,'ko','Linewidth',4)%Punto en O2
plot(d,0,'ko','Linewidth',4)%Punto en O4
Trayectoria(Trax,Tray);
hold off
Con=Con+1;
axis equal
xlim([-6 20]);
ylim([-6 10]);
title('POSICIÓN Y VELOCIDAD M4L')
grid on
pause();
end
end
%%

```



## MODELAGEM DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO EM DIFERENTES OPERAÇÕES MECANIZADAS DA CAFEICULTURA

João Paulo Barreto Cunha<sup>1</sup>, Ednilton Tavares Andrade<sup>2</sup>, Fabio Moreira da Silva<sup>3</sup>

1 Professor, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Brasil, Instituto de Tecnologia  
- Departamento de Engenharia, Rod. BR 465, Km 7, CEP 23890-000. (+55) 21 37873750.  
engbarretocunha@gmail.com

2,3 Professor, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, Departamento de Engenharia –Campus  
Universitário Cx.Postal 3037- 37.2000-000. (+55) 35 38291481. ednilton@deg.ufla.br,  
famsilva@deg.ufla.br.

**RESUMO:** Dentre as inúmeras atividades agrícolas, a cafeicultura gera lucros desde a época imperial do Brasil. Com a sua evolução para a escala industrial, a adoção de tecnologia se faz cada vez mais presente, a exemplo da mecanização, que atualmente tornou-se realidade entre os cafeicultores. Inúmeras operações antes realizadas de forma manual passaram a ser mecanizadas, o que permitiu a redução de custos e aumento da praticidade das operações. Estudos relacionados ao melhor aproveitamento do maquinário agrícola utilizado na cafeicultura e seu desempenho operacional ainda são escassos. O conhecimento da influência de determinadas variáveis que atuam no desempenho operacional podem gerar modelos que permitam estimar de maneira precisa esses parâmetros, possibilitando assim a otimização e o gerenciamento das operações mecanizadas. Uma dessas ferramentas é o uso da metodologia de superfície de resposta (MSR), que permite verificar a influência de diferentes variáveis independentes, permitindo como resposta alcançar um valor ótimo. O presente estudo teve como objetivos verificar a influência da velocidade operacional e do comprimento médio de entrelinhas nos parâmetros de desempenho operacional, em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura, utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR). Os resultados mostram que os modelos de primeira ordem obtidos para os parâmetros de desempenho das operações mecanizadas mostraram-se mais ajustados à utilização de modelos quadráticos. A metodologia de superfície de resposta mostrou-se uma importante ferramenta para verificar o efeito das variáveis nos parâmetros de desempenho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mecanização, Tratos culturais, Erro médio, Coffea Arabica.

## **MODELING OF PERFORMANCE PARAMETERS IN DIFFERENT MECHANIZED COFFEE OPERATIONS**

**ABSTRACT:** Among the many agricultural activities, coffee farming has generated profits since the Brazilian imperial era. With its evolution to the industrial scale, the adoption of technology is becoming more and more present, such as mechanization, which has now become a reality among coffee growers. Numerous operations previously performed manually began to be mechanized, which allowed the reduction of costs and increase the practicality of operations. Studies related to the best utilization of the agricultural machinery used in coffee cultivation and their operational performance are still scarce. The knowledge of the influence of models that allow to accurately estimate these parameters, thus enabling the optimization and the management of the mechanized operations. One of these tools is the use of surface response methodology (MSR), which allows to verify the influence of different independent variables, allowing the response to reach an optimal value. The present study had as objectives to verify the influence of the operational speed and the average length of between rows in the parameters of operational performance, in different operations mechanized in the coffee industry, using the methodology of surface of response (MSR). The results show that the first-order models obtained for the performance parameters of the mechanized operations were more adjusted to the use of quadratic models. The response surface methodology was an important tool to verify the effect of the variables on the performance parameters.

**KEYWORDS:** Cultural dealings, Coffea Arabica, Mechanization, Medium error.

### **INTRODUÇÃO**

Na agricultura moderna, a utilização de modelos matemáticos passou por um grande desenvolvimento desde o fim da década de 80. Uma das ferramentas utilizadas para a modelagem de dados são as chamadas superfícies de resposta. De acordo com Myers e

Montgomery (1995), a metodologia de superfície de resposta (MSR) é uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas que são utilizadas para modelar e analisar problemas nos quais a resposta de interesse é influenciada por muitas variáveis. A resposta gerada deve alcançar um valor ótimo e a forma de relacionamento entre a variável de resposta e as variáveis independentes são desconhecidas.

Para Colaço et al. (2008), os modelos de superfície são frequentemente usados na substituição de modelos complexos, a fim de que se obtenha uma correlação entre os dados experimentais e redução dos problemas de otimização, e a utilização desses modelos é de grande aplicabilidade prática. Tal ferramenta é utilizada em diferentes áreas de pesquisa, como no estudo de rendimento agrônômico de cultivares e irrigação. Em contrapartida, para o estudo de parâmetros de desempenho em operações mecanizadas, essa metodologia é pouco utilizada.

Com base no exposto, o presente estudo foi conduzido com o objetivo de verificar a influência da velocidade e comprimento médio das entrelinhas nos parâmetros de desempenho operacional, em diferentes operações mecanizadas de manejo realizadas na cafeicultura, utilizando a metodologia de superfície de resposta (MSR).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo foi realizado no município de Alfenas, estado de Minas Gerais, em áreas em que se utilizavam diferentes cultivares de café adaptadas à mecanização, apresentando declividades de até 20%. Como base de dados para a realização do presente estudo foram determinados parâmetros de desempenho de diferentes operações mecanizadas de tratos culturais realizadas durante o ciclo produtivo das lavouras estudadas, ou seja, as operações de adubação, poda do cafeeiro, manejo de invasoras com trincha cafeeira, aplicação de agroquímicos.

Para a obtenção da área total de cada talhão, os comprimentos de cada entrelinha dos talhões avaliados, trajeto percorrido pelas máquinas e sua velocidade operacional, foi utilizado um receptor GPS/A-GPS (Global Positioning System), o que permite acelerar a obtenção da localização, aumentando a funcionalidade do receptor. O armazenamento dos dados coletados em campo pelo receptor foi obtido em uma frequência de um dado a cada cinco

segundos. Com base nos dados obtidos pelo receptor, foram gerados bancos de dados e posteriormente armazenados e analisados pelo software CR 7 Campeiro®, o que permitiu a posterior obtenção aquisição e determinação dos parâmetros de desempenho capacidade de campo efetiva (Cce), tempo demandado das operações (Td) e a eficiência de campo (Ec).

Para a geração de modelos, são utilizados diferentes métodos, como por exemplo, técnicas baseadas em modelos lineares ou não lineares, mínimos quadrados e funções de base radial. Diante desse cenário, no presente estudo, utilizaram-se técnicas baseadas em modelos lineares, por representar melhor o comportamento natural das variáveis estudadas, comprimento médio das entrelinhas e velocidade operacional dos conjuntos mecanizados.

Os dados utilizados para a geração dos modelos foram submetidos a uma análise prévia, verificando assim a presença de dados discrepantes, testar a homogeneidade das variâncias e normalidade dos erros (FREUND e LITTELL, 2000).

A metodologia de superfície de resposta é um procedimento sequencial, assumindo-se que na maioria das experiências inicia-se analisando modelos lineares para verificar a interação dos fatores. Sendo assim, o modelo genérico proposto para as variáveis respostas capacidade de campo efetiva, eficiência de campo e tempo demandado, está descrito na Equação 1.

$$Z_i = X_i \cdot a + Y_i \cdot b + c \quad (1)$$

Em que:

Z<sub>i</sub> - Parâmetro de desempenho estudado;

X<sub>i</sub> - Comprimento médio das entrelinhas (m);

Y<sub>i</sub> - Velocidade operacional (km h<sup>-1</sup>);

a, b, c - Coeficientes da equação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos foi realizada a modelagem da capacidade de campo efetiva, da eficiência de campo e tempo demandado dos conjuntos mecanizados em função da velocidade operacional e o comprimento médio das entrelinhas. Dessa maneira, foi possível investigar a influência das variáveis e sua interação, bem como valores que permitam otimizar os resultados.

Na Tabela 1, encontram-se os modelos gerados e seus estimadores. Os modelos gerados para a capacidade de campo efetiva, com 95% de confiança, mostram coeficientes de determinação considerados altos, ou seja, para todos os modelos propostos os valores apresentados foram acima de 80%. É possível observar que dentre as variáveis estudadas, a velocidade operacional foi a que mais influenciou na capacidade de campo efetiva.

Em contrapartida, tais modelos apresentaram valores dos estimadores qui-quadrado e erro médio estimado muito elevados, o que permite dizer que os modelos gerados para a capacidade de campo efetiva das operações estudadas não representam a interação do comprimento médio das entrelinhas e a velocidade operacional de forma eficiente.

Analisando o coeficiente de determinação dos modelos gerados para a Eficiência de campo, observa-se que para a aplicação de agroquímicos, manejo de invasoras e poda do cafeeiro os modelos gerados mostraram-se ajustados. Para o modelo gerado para a operação de adubação do cafeeiro, o coeficiente de determinação obtido foi muito baixo (9,6%), o que por si só já permite afirmar que o modelo não explica a relação entre as duas variáveis estudadas, explicando, em ambos os casos, menos de 10% da interação.

Com relação aos estimadores que indicam o ajustamento do modelo, observa-se que os modelos gerados para as operações de transplântio, aplicação de agroquímicos, manejo de invasoras apresentam coeficientes que garantem o ajustamento dos modelos, tornando-os aptos a serem utilizados para a determinação da eficiência de campo (Ec).

TABELA 1. Equações de primeira ordem obtidas para a capacidade de campo efetiva, eficiência de campo e tempo demandado em função da velocidade operacional e comprimento médio das ruas para as operações estudadas.

Capacidade de campo efetiva (Cce)							
Modelos	a	b	c	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	SE	P
1	1,136	980,9	-477,6	88,9	183,3	427,8	10,47
2	1,141	981,1	-477,6	98,2	139,4	118,1	1,87
3	0,455	401,7	123,4	93,8	534,2	73,1	2,71
4	2,726	983,8	148,4	94,3	405,5	201,3	3,24

Eficiência de campo (Ec)							
	a	b	c	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	SE	P
1	0,018	0,288	63,87	9,6	67,1	8,2	9,54
2	0,265	-2,41	74,2	90,9	0,87	0,9	0,87
3	-0,019	-2,536	79,21	87,7	0,01	2,4	2,63
4	0,047	-2,906	90,16	62,3	10,4	3,2	2,7

Tempo demandado (Td)							
	a	b	c	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	SE	P
1	-0,0001	-0,267	2,139	76,6	0,03	0,2	10,12
2	-0,0007	-0,237	2,233	88,5	0,01	0,1	7,16
3	-0,0003	-0,375	3,562	88,5	0,02	0,1	5,11
4	-0,0005	-0,164	1,57	89,9	0,01	0,1	3,93

Modelos: (1) adubação; (2) aplicação de agroquímicos; (3) manejo de invasoras; (4) Poda; (C) Comprimento médio das entrelinhas; (V) Velocidade operacional; (R<sup>2</sup>) Coeficiente de determinação; (x<sup>2</sup>) qui-quadrado; (SE) erro médio estimado; (p) erro médio relativo; <sup>ns</sup> -não significativo e \*significativo a 5% no teste F.

Por outro lado, nota-se que os modelos referentes a adubação e poda do cafeeiro apresentaram valores para o estimador qui-quadrado muito superiores a zero, o que prejudica a utilização dos modelos, pois os mesmos não se mostram precisos. Diante desses resultados,

foram geradas as superfícies de resposta para as operações aplicação de agroquímicos e manejo de invasoras, conforme a Figura 1.

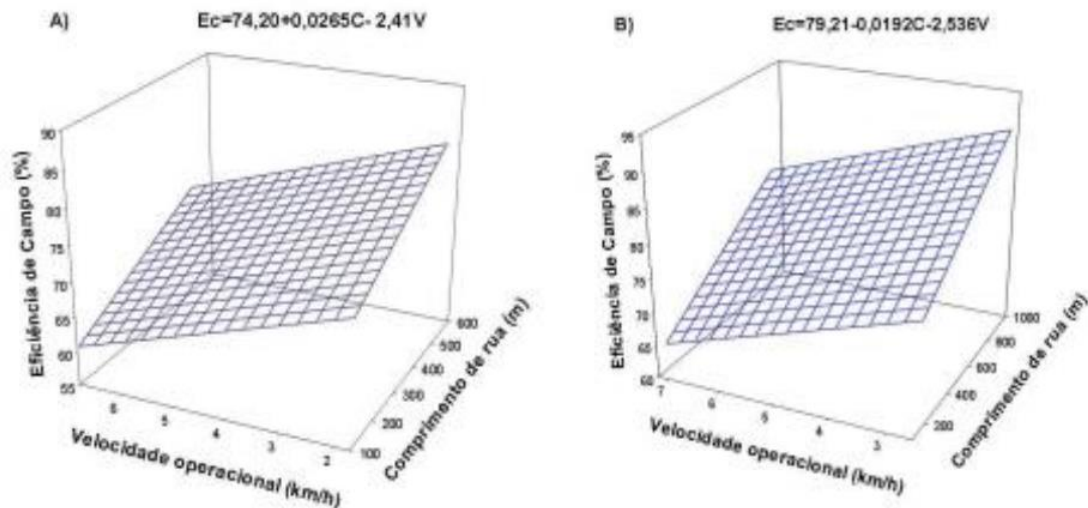


FIGURA 1. Superfícies de primeira ordem obtidas para eficiência de campo para: a) aplicação de agroquímicos; b) manejo de invasoras.

Percebe-se por meio das superfícies geradas que o aumento da velocidade operacional, como também do comprimento das entrelinhas, permite a obtenção de maiores eficiências de campo. Segundo Ramos et al. (2012), a escolha da velocidade operacional é de suma importância visto que, aumenta a capacidade de trabalho de um conjunto mecanizado e interfere diretamente no consumo energético e desgaste dos diferentes componentes do trator. No caso do comprimento médio das entrelinhas, à medida que se trabalha com entrelinhas de comprimentos maiores a eficiência de campo é aumentada, sendo tal fato explicado pelo menor número de manobras de em relação ao tempo total de operação.

Em relação aos modelos obtidos para o parâmetro tempo demandado ( $T_d$ ), observa-se que a velocidade operacional dos conjuntos é a variável que afeta com maior intensidade com o tempo demandado, fazendo com que seu aumento permita a redução do tempo demandado, conforme Figura 2.

Tal resultado é visivelmente verificado mediante a maior inclinação no plano da superfície gerada. Percebe-se que o aumento combinado da velocidade com o comprimento



das entrelinhas permite com que as operações sejam realizadas com uma menor quantidade de horas. Dessa maneira, é possível afirmar que a escolha adequada da velocidade operacional dos conjuntos permite o aumento da capacidade de campo efetiva e eficiência operacional e redução do tempo demandado para as tarefas, corroborando com Cortez et al. (2008).

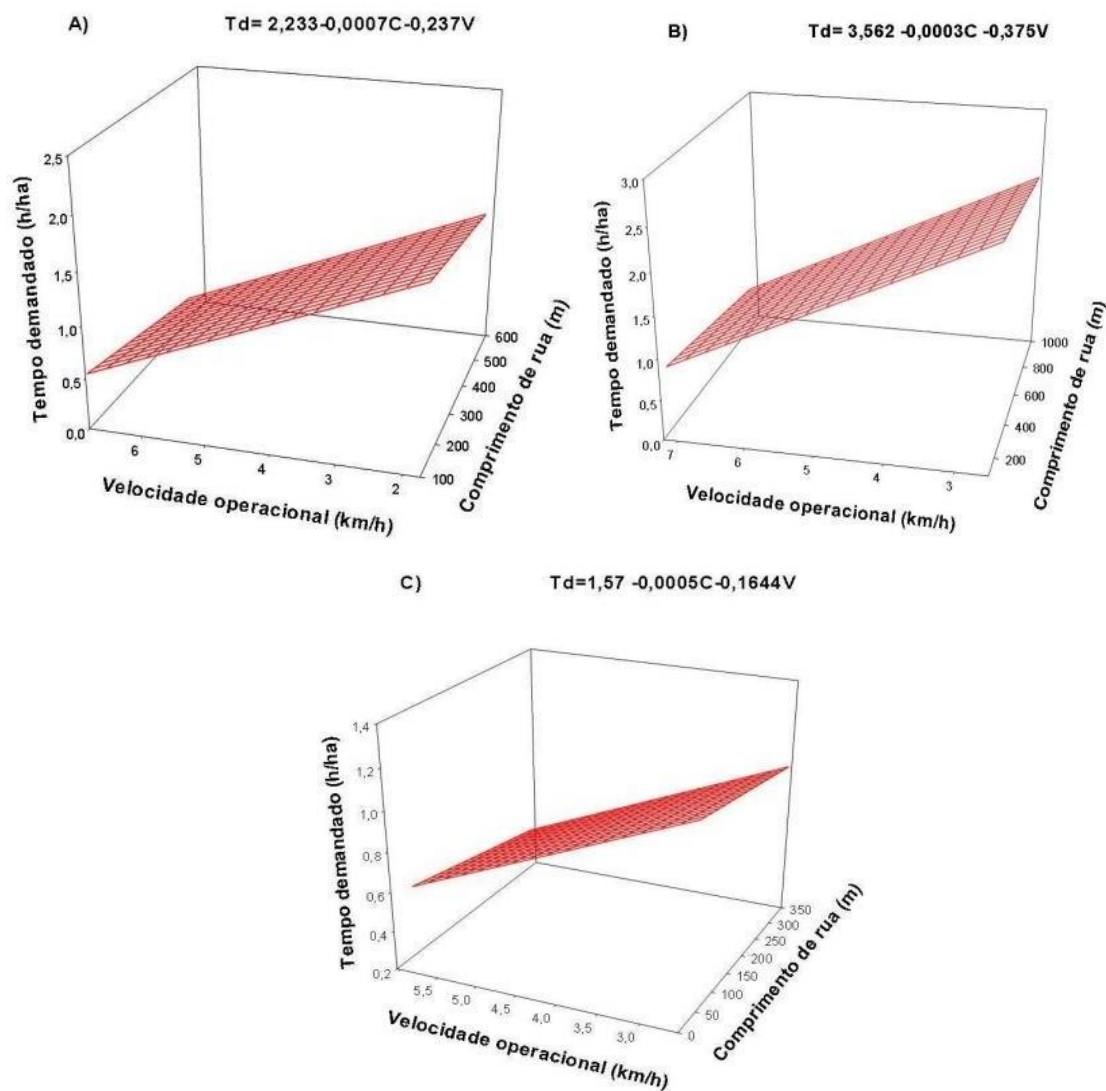


FIGURA 2. Superfícies de primeira ordem obtidas para o tempo demandado para: a) aplicação de agroquímicos; b) manejo de invasoras; c) Poda do cafeeiro.

De uma maneira geral as superfícies geradas a partir dos modelos propostos mostraram-se ajustadas, visto que, Analisando os estimadores de cada modelo, observa-se



que o erro médio estimado (SE) e o qui-quadrado ( $x^2$ ) apresentaram valores próximos a zero para todos os modelos gerados. Tais resultados indicam que os modelos estão ajustados. Segundo Molina Filho et al. (2006), quanto menor for o valor desses estimadores significa uma menor discrepância dos valores observados e obtidos pelo modelo.

## CONCLUSÕES

- Com base nos resultados obtidos, a metodologia de superfície de resposta mostrou-se uma importante ferramenta para analisar os parâmetros de desempenho operacionais de máquinas agrícolas.
- Os modelos de superfície gerados no presente estudo permitem dizer que o aumento da velocidade combinado com o maior comprimento das entrelinhas permite a obtenção de menores tempos demandados para a realização da operação nas áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLAÇO, M.; DULIKRAVICH, G. S. and SAHOO, D. 2008. A Response surface method-based hybrid optimizer. *Inverse Problems in Science and Engineering*. 16: 717-741.
- CORTEZ, J. W. et al. 2008. Efeito residual do preparo do solo e velocidade de deslocamento na operação de semeadura da *Crotalaria juncea*. *Revista Scientia Agraria*. 9: 357-362.
- FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. 2000. *SAS® Sistem for regression*. Cary: SAS Institute.
- MOLINA FILHO, L. et al. 2006. Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sódio (NaCl) nas isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma macroparum*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 26 :453-458.
- MYERS, r. h. and MONTGOMERY, D. C. 1995. *Response surface methodology: process and product optimization using design of experiments*. New York: Interscience.

RAMOS, C.R.; LANÇAS, K.P.; MASIEIRO, F.C.; LYRA, G.A.; MARASCA, I. 2012.  
Potência e economia. *Cultivar Máquinas*. 125:28-31.

## **SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y POSTCOSECHA**

# **CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO EN EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA (OREOCHROMIS MOSSAMBICUS) Y LECHUGA CRESPA (LACTUCA SATIVA).**

**Luis Felipe Hernández Zambrano (1), Oscar Leonardo García Navarrete (2)**

**1** Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Carrera 30 No 45-03, CP: 111321, Bogotá, Colombia. E-mail:

lfhernandezza@unal.edu.co

**2** Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Carrera 30 No 45-03, Edificio 214, Oficina 203 CP: 111321, Bogotá, Colombia.

E-mail: olgarcian@unal.edu.co

## **RESUMEN**

Los sistemas acuapónicos representan la integración multitrófica de tres biosistemas peces, plantas y bacterias, los cuales se benefician mutuamente a través de un sistema cerrado de circulación de agua (Abdallah y Elmessery, 2014). En esta investigación se evaluó el consumo de agua y el rendimiento de lechuga y tilapia. Se desarrollaron dos prototipos, un sistema acuapónico tradicional y un sistema acuapónico con doble recirculación, estos sistemas guardaron idénticas proporciones para toma de medidas comparativas de crecimiento. Se desarrollaron tres repeticiones de cultivo con duración de 45 días cada uno, para cada cultivo se evaluaron los parámetros en peces de longitud total, peso y factor de conversión alimenticia y en plantas número de hojas, peso fresco total, altura y color. Se desarrolló un control de temperatura, pH, OD, CE, nivel de agua en biofiltro, flujo de agua, humedad relativa buscando mantener los sistemas bajo condiciones óptimas y reduciendo la intervención humana para el cultivo. Los resultados de crecimiento en peces fueron los esperados para la especie, en plantas se evidenció un lento crecimiento en el sistema acuapónico tradicional comparado con el sistema acuapónico de doble recirculación, diferencia asociada al suministro de nutrientes faltantes en el sistema de doble recirculación.

Respecto al uso de agua se identificó un consumo del 6% para el sistema tradicional y 2% para el sistema de doble recirculación, diferencia asociada a la inclusión del sistema de doble recirculación en un invernadero y a la recuperación del agua de evapotranspiración por medio de condensación.

**PALABRAS CLAVE:** acuapónico, automatización, lechuga, recirculación, tilapia.

## INTRODUCCIÓN

La generación constante de alimento debido al incremento poblacional mundial (FAO, 2015) presenta a la acuicultura como la fuente de alimento con mayor incremento en los últimos años, sin embargo a medida que pasa el tiempo son cada vez más escasos los recursos físicos como agua, tierra y energía para la producción de alimento, por tal razón los sistemas de producción de alimentos sostenibles están tomando cada vez más importancia a nivel mundial. En la actualidad las prácticas de acuicultura son desarrolladas en jaulas flotantes en mar, lagos, lagunas, estanques en tierra y canales en ríos, estas prácticas de acuicultura representan una contaminación a los cuerpos hídricos generados en la salida de los vertimientos de agua debido a que esta se encuentra cargada de compuestos como amonio, nitritos, nitratos, fosfatos, metales los cuales no son tratados debido a la falta de controles en la descarga de agua al medio ambiente repercutiendo en problemas de eutrofización al cuerpo hídrico.

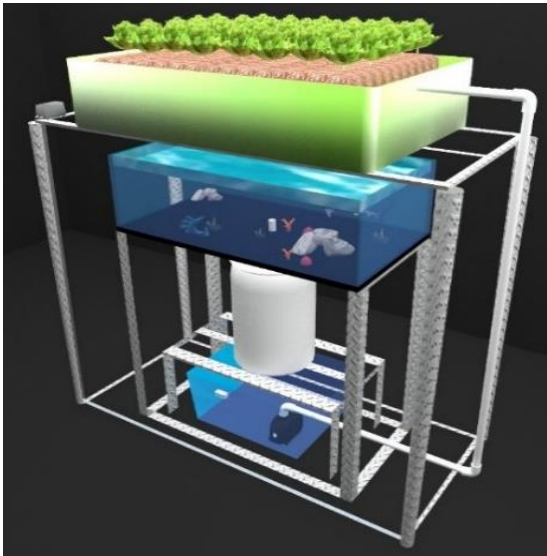
La importancia de esta investigación se centra en el desarrollo de un sistema automatizado que permita mejorar el rendimiento de los sistemas acuapónicos tradicionales así como desarrollar una metodología de recuperación de agua que garantice la disminución del agua perdida por evapotranspiración de las plantas. El prototipo diseñado y desarrollado en esta investigación es escalable y sirve como guía para que sea implementado a nivel productivo. Los sistemas acuapónicos tradicionales no presentan un buen rendimiento y calidad comparados con sistemas independientes de hidroponía y acuicultura debido a que los

macronutrientes y micronutrientes producto de los desechos de los peces no satisfacen completamente los requerimientos nutricionales de las plantas (Graber, 2009).

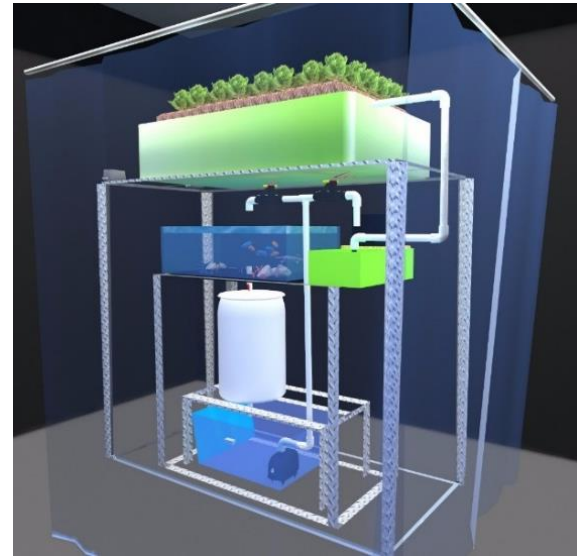
Estudios previos de sistemas acuapónicos con doble recirculación como el propuesto en esta investigación fueron desarrollados a partir del año 2015 por (Kloas y Baganz, 2015). Estos métodos de recirculación y recuperación de agua son muy recientes y por tal motivo hace falta profundizar más en los desarrollos de estos sistemas buscando que no solamente se trabajen para la investigación sino que puedan ser transferibles a la práctica “ámbito productivo para los agricultores colombianos”. Los objetivos de este trabajo fueron construir un prototipo de sistema acuapónico tradicional y un prototipo de doble recirculación los cuales permitieran realizar pruebas de cultivo e identificación de automatización aplicable al proceso. Implementar una estrategia de control para el sistema acuapónico tradicional y de doble recirculación con recuperación de agua. Evaluar el sistema acuapónico automatizado tradicional y de doble recirculación respecto al rendimiento de los cultivos y utilización de agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó el diseño y construcción de dos prototipos, un sistema acuapónico tradicional “Figura 1-a” y un sistema acuapónico de doble recirculación “Figura 1-b”. Cada prototipo contó con una capacidad de 105 litros de agua, una cantidad de diez peces y nueve plantas por sistema, montajes realizados en la Universidad Nacional de Colombia durante un periodo de 10 meses.



**Figura 1-a. Prototipo sistema acuapónico tradicional**



**Figura 1-b. Prototipo sistema acuapónico doble recirculación.**

La identificación de los componentes principales para el prototipo de sistema acuapónico tradicional se realizó siguiendo el trabajo realizado por Savidov y Hutchings (2005) y los componentes para el prototipo de sistema acuapónico de doble recirculación siguiendo el trabajo realizado por Kloas y Baganz (2015). El sistema acuapónico tradicional constó de un tanque para cultivo de plantas, tanque para cultivo de peces, filtro mecánico y filtro biológico. Este prototipo incorporó un sistema cerrado de recirculación de agua, el cual presentó una conducción de agua del tanque de plantas, al tanque de peces, filtro mecánico y filtro biológico por medio de una conducción por gravedad. Del filtro biológico hacia el tanque de plantas se conduce el agua utilizando una bomba de agua.

El material vegetal fue lechuga cressa verde (*Lactuca Sativa*) provenientes del Centro de Bio-sistemas Alberto Lozano Simonelli de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Las plántulas presentaron un promedio de 3 hojas verdaderas, altura promedio de 5 cm y turba como sustrato de siembra. El material animal fue alevines de Tilapia Roja “*Oreochromis Mossambicus*” adquiridos en el Laboratorio de Ictiología y Peces Ornamentales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Los alevines presentaron un peso promedio de 3.23g y una longitud promedio de 3.2 cm. Antes de iniciar los cultivos en los sistemas acuapónicos, se realizó el proceso de maduración del filtro biológico utilizando el producto

Stability del fabricante Seachem, esta fase incorporó bacterias aerobias, anaerobias y facultativas para su posterior proliferación autónoma en el filtro. Se desarrollaron tres cultivos de lechuga, el primero utilizando la metodología de raíz flotante con medio de soporte poliestireno expandido. Los otros cultivos se desarrollaron con sustrato arlita como medio de soporte.

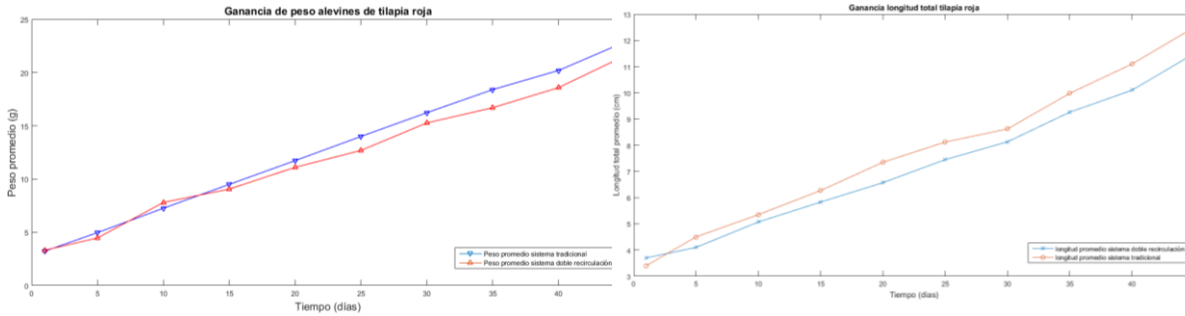
Se desarrollaron tres cultivos de tilapia roja con una duración de 45 días cada uno. Se realizó una etapa inicial de cuarentena por un periodo de 5 días en los cuales se supervisó consumo de alimento y supervivencia al transporte. Cada 5 días fueron retirados la totalidad de peces para tomar la medida de peso y longitud total. Se realizó análisis a muestras de agua del sistema acuapónico tradicional, sistema acuapónico de doble recirculación, sistema de recuperación de agua, tanque de mezcla y agua de suministro proveniente de la tubería. Se evaluaron los parámetros de pH, CE, cationes (Ca, Mg, Na, K), RAS, aniones (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>). Los datos de seguimiento para el rendimiento en el cultivo de plantas fueron peso, altura, número de hojas, color, textura. En peces, los parámetros de seguimiento fueron peso, longitud total, índice de conversión alimenticia, consumo de agua en el sistema. Los datos obtenidos fueron procesados y graficados en el software Matlab. Se propuso medir en tiempo real por medio de sensores las variables fisicoquímicas del agua y medioambientales como son la temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, flujo de agua, nivel de agua en biofiltro, humedad relativa, luminosidad. Estas variables son enviadas a un microcontrolador para realizar proceso de control.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres cultivos de alevines de tilapia roja presentaron un comportamiento en ganancia de peso acorde a las curvas propuestas en la literatura. El promedio inicial fue de 3.23g para el sistema acuapónico tradicional y 3.32g para el sistema acuapónico de doble recirculación. Los pesos finales transcurridos 45 días fueron de 22.85g y 21.55g respectivamente, como puede observarse en la Figura 2-a. El parámetro de longitud presentó un comportamiento similar al peso, iniciando con medidas en alevines de 3.4 cm para el sistema acuapónico tradicional y 3.7 cm para el sistema acuapónico de doble recirculación. La longitud final total



transcurridos 45 días fue de 11.5cm y 12.5cm respectivamente, como puede observarse en la Figura 2-b.



**Figura 2-a. Curva ganancia peso tilapia roja**

**Figura 2-b. Curva ganancia longitud tilapia roja**

En la Figura 3-a y 3-b se puede observar la fase inicial (día 1) y final (día 45) del cultivo de alevines de tilapia roja.

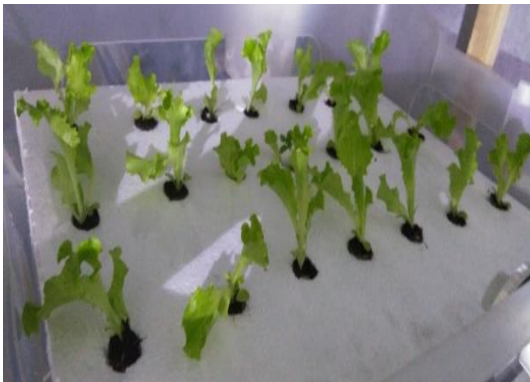


**Figura 3-a. Fase inicial tilapia roja**



**Figura 3-b. Fase final tilapia roja**

Comercialmente el índice de conversión alimenticia para la tilapia está en el rango de 1.0 a 1.5, siendo más favorable para el productor un valor cercano a 1.0. Con este proyecto se obtuvo un resultado de 0.9, garantizando un mayor aprovechamiento del alimento suministrado. Estos resultados se asociaron al control realizado a las variables fisicoquímicas del agua para garantizar un crecimiento adecuado. Respecto al cultivo de lechuga para los tres experimentos se evidencio un déficit de crecimiento en el sistema acuapónico tradicional, asociado a la falta de nutrientes que no son generados en un sistema acuapónico, como lo son el potasio y hierro “Figura 4-a y 4-b”.



**Figura 4-a. Plántulas lechuga sistema tradicional día 1.**



**Figura 4-b. Plantas lechuga sistema doble recirculación día 45.**

En el sistema de doble recirculación se logró suministrar una solución nutritiva (Nutriponic) para cultivos hidropónicos sin afectar el correcto crecimiento en peces, garantizando un adecuado crecimiento de la lechuga “Figura 5-a y 5-b”. En los tres cultivos se inició con pesos promedio para plántulas de lechuga de 2.3g, para el sistema acuapónico de tipo tradicional el peso final promedio fue de 22.3 g y para el sistema acuapónico de doble recirculación de 85g. Se realizaron pruebas con sustrato poliestireno expandido y arlita, encontrando en esta última mayores beneficios de sostenimiento de la planta, disponibilidad de nutrientes en la raíz, mayor aireación.



**Figura 5-a. Plántulas lechuga sistema de doble recirculación. Día 1.**



**Figura 5-b. Plántulas lechuga sistema de doble recirculación. Día 45.**

Respecto a la automatización de los parámetros fisicoquímicos del agua y medioambientales, se logró proponer y desarrollar una estrategia de control, la cual permitió mantener las variables en los parámetros ideales sugeridos en la literatura y que se expresan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Variables de control**

VARIABLE	VALOR DE CONSIGNA	FUENTE
Temperatura	27.0 °C	Johanna, 2016
Oxígeno Disuelto	5 mg/L	Kloas, 2015
Potencial de Hidrogeno	5.5 – 7.5 pH	Goddek, 2015
Conductividad Eléctrica	1.5 – 2.0 mS / cm	Johanna, 2016
Horas luz plantas	12 h	Pantanella, 2012
Iluminación	10.000 – 40.000 lx	Pantanella, 2012
Nivel agua biofiltro	18 cm	---
Cantidad alimento peces	4.3% y 3.6 % biomasa total	Pantanella, 2012
Humedad relativa plantas	60 – 80%	Rafiee, 2006

Identificadas las variables de control y los valores deseados para los parámetros fisicoquímicos y medioambientales se aplicaron técnicas de control continuo y control on-off de acuerdo a la identificación de importancia de las variables en el sistema, encontrando que la temperatura, oxígeno disuelto y la humedad relativa requerían de un control de tipo PID y las demás variables un control de tipo on –off debido a que son variables lentas en el tiempo. Se utilizaron circuitos de instrumentación, adquisición de datos y potencia para el manejo de actuadores como bombas de aire, bomba de agua, calefactores, alimentadores, lámparas led y dosificadores. Se realizó una conexión serial con el computador para visualizar por medio de una interfaz gráfica realizada en Labview el estado actual del sistema acuapónico.

### CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y uno de doble recirculación en cultivo de Tilapia Roja (*Oreochromis mossambicus*) y Lechuga Crespa (*Lactuca sativa*), los cuales sirven como alternativa a los cultivos tradicionales de peces y

plantas, aprovechando los beneficios de ambos sistemas. Estos desarrollos permitieron evaluar una estrategia de control para las variables pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, luminosidad y humedad relativa, dicha estrategia de control garantizó mantener los niveles adecuados para el crecimiento de los tres sistemas biológicos presentes en los sistemas acuapónicos (peces, plantas, bacterias). Con los desarrollos y la estrategia de control establecida se evaluó el rendimiento en los cultivos de peces y plantas. Concluyendo que el sistema acuapónico de doble recirculación permitió aumentar considerablemente los resultados en plantas, también permitió reducir en 4 % el consumo promedio de agua respecto a un sistema tradicional. Es de importancia mencionar que la producción de los peces no se ve afectada por seleccionar alguno de los dos métodos de sistema acuapónico, con lo cual los resultados encontrados en esta investigación se basan principalmente en el aumento de la producción y calidad de las plantas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., Trelles, A. (2014). Crecimiento de goldfish, *Carassius auratus*, y lechuga, *Lactuca sativa*, en sistema acuapónico en condiciones de invernadero. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo, Revista Ciencias Biológicas 12, 54-72.
- Alcocer, M.J., Fernández, V.M. (2017). Diseño y construcción de dos sistemas acuapónicos horizontales para la producción conjunta de peces dorados y lechugas. Universidad de Sevilla
- Geisenhoff, L.O., Jordan, R.A., Santos, R.C., Oliveira, F.C., Gomez, E.P. (2016). Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. *Eng Agr*, 36, 291-299.
- Goddek, S. Delaide, B. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7, 4199–4224.
- Johanna, S., Dennis, D. (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*, 178, 335–344.

- Kloas, W. Baganz, D. (2015). A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity and to reduce environmental impact. *Aquac Environ Interact*, 7, 179–192.
- Pantanella, E., Cardarelli, M. (2012). Aquaponics vs hydroponics: production and quality of lettuce crop. *Acta Horti*, 927, 887–893.
- Rafiee, G., Saad, C.R. (2006). The effect of natural zeolite (clinoptiolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa var. longifolia*), and improvement of water quality. *J. Agric Sci Technol*, 8, 313-322.
- Savidov, N., Hutchings, E. R. (2005). Fish and plant production in a recirculating aquaponics system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. *International Conference and Exhibition on Soiless Culture*, 742, 209–221.

## CONECTANDO CAFICULTORES CON EL MUNDO Y AL MUNDO CON LAS GRANJAS CAFETERAS. CALIDAD, TRANSPARENCIA E IMPACTO SOCIAL

**Hugo Andrés López Fisco - Ing Agrícola MSc Innovación**

**[hlopez@innovakit.com](mailto:hlopez@innovakit.com) - (057) 3127919453 - Colombia**

### RESUMEN

Se implementó un modelo de innovación y apropiación de conocimiento dirigido a caficultores colombianos, que permite optimizar sus procesos, disminuir costos de producción y generar relaciones más estables, directas y de largo plazo con consumidores en el exterior. Las innovaciones tecnológicas incluyeron toda la cadena productiva del café, desde la finca (cultivo, cosecha, fermentación, secado y almacenamiento), pasando por la cadena de transformación y suministro, y llegando hasta el consumidor final; adicionalmente, se desarrolló una plataforma de trazabilidad digital en tiempo real, llamada Trace.coffee®, que permite conectar directamente a productores con consumidores. A partir de esto, se lograron procesos de apropiación tecnológica por más de 300 pequeños caficultores de Colombia en 5 departamentos, gracias a un modelo de negocio que aumenta la rentabilidad porque reduce costos al facilitar el control de los procesos e incrementa el precio de venta de los cafés por su especialidad. Esta estrategia impacta el desarrollo territorial gracias a que la tecnología es el eje articulador. La conexión entre productores y consumidores a través de internet generó relaciones humanas sólidas, cafés de alta calidad y consistencia, visibilidad, reconocimiento y jóvenes construyendo relevo generacional, sostenibilidad, trazabilidad y mejores ingresos para todos los involucrados.

**PALABRAS CLAVE:** Innovación social, trazabilidad, relevo generacional, cafés especiales.



## ABSTRACT

For this project a technological innovation and knowledge transfer model was implemented, targeted to Colombian coffee growers and with the goals of optimizing processes, reducing production costs and creating direct, stable and long-term connections with buyers and consumers abroad. The technological innovations covered the whole production chain, from the farm (plantation management, harvesting, fermentation, drying and storage), through the supply chain and all the way to the end consumer. Additionally, we included a traceability software and hardware platform, called Trace.Coffee®, which allows the direct connection between coffee producers and consumers. Together, these tools enabled technology appropriation processes for more than 300 small coffee growers in 5 Colombian departments, applying a model that increases their income by reducing costs, through improved control of processes, and increases the sale price through higher and more consistent product quality. This strategy achieves impact in the development of coffee growing regions, by using technology as the articulation agent. The connection it creates between producers and consumers generates solid human relationships, ensures consistently high coffee cup quality, visibility and recognition for growers, as well as the involvement of younger generations, allowing the creation of a stronger and more transparent supply chain that guarantees sustainability, traceability and better income to all those who are part of it.

**KEY WORDS:** Social innovation, traceability, generational succession, specialty coffees.

## INTRODUCCIÓN

### ● El Café en Colombia

La actividad cafetera colombiana predominante es cimentada actualmente en estructuras de corte campesino y minifundista. Conserva un protagonismo indiscutible en el país, dado que el cultivo se encuentra presente en más de la mitad de los municipios (570), en algunos como baluarte de sus economías; participa con el 18% del área destinada a la agricultura y el 37% de los cultivos permanentes, aporta el 15% del empleo rural; para el primer trimestre de 2017, el PIB agrícola se expandió en 7,7%, impulsado por el café (11,5%) y otros cultivos (12%),

pasando de una participación de 0,5 en 2012 a 0,9 en 2017 (Moreno, A. 2017); genera alrededor de \$150 mil millones de ingresos, distribuidos en más de 560 mil familias que han encontrado en el cultivo el sustento de su devenir social.

En esencia, la caficultura constituye la impronta de una tradición transferida por generaciones, la huella de un proceso de apropiación lícito del territorio colombiano y el símbolo inequívoco de afirmación cultural de miles de familias, representadas en Comités departamentales y municipales que soportan las políticas conducentes al bienestar regional que en el plano comercial, cuentan con un esquema de comercialización interna conformada por una red de puntos de compra particulares y privados.

Los cafés especiales son un nuevo segmento del mercado de café, que se vienen construyendo a partir de las demandas de los grandes mercados, que a su vez están divididos entre cafés certificados mediante los programas de sostenibilidad y cafés que generan mayor percepción de valor por los clientes, gracias a su diferenciación en procesos y por ende en taza.

#### ● **Innovación como estrategia de desarrollo**

La innovación se puede definir de diferentes formas y en general siempre se vincula a diversos ámbitos como el económico, social, educativo, cultural, entre otros; sin embargo, todas las precisiones redundan en que innovar significa “introducir modificaciones en la manera de hacer las cosas, para mejorar el resultado final”. Dado el creciente auge en implementar procesos de innovación, se ha incrementado también el interés de los países por invertir mayores recursos en ciencia, tecnología e innovación (CTI) y de la misma forma definir las metodologías apropiadas para medir dicha inversión y determinar los indicadores pertinentes.

Con este proyecto se implementaron innovaciones tecnológicas para el control de procesos de producción del café, facilitando el acceso al mercado a través del internet, logrando apropiación de las mismas y un nuevo modelo de negocio basado en la calidad, el desarrollo territorial y la tecnología como eje articulador.



- **Innovakit como generador de innovación y procesos de apropiación**

Innovakit es una empresa de base tecnológica (Spin-Off de Cenicafé), dedicada al mantenimiento y control de la calidad en la producción de café hasta la taza, basados en procesos tecnológicos sencillos. Comercializa y transfiere tecnologías innovadoras y de bajo costo para el caficultor, que generan rentabilidad en la cosecha, calidad en el beneficio, eficiencia en el secado y optimización en la comercialización con valor agregado.

En los últimos años, con base en una alianza estratégica con la firma Martha Special Coffee de EEUU, desarrollaron una plataforma de trazabilidad en tiempo real denominada Trace.Coffee®, mediante la cual se incorporan los desarrollos tecnológicos que ayudan a la trazabilidad del café desde el cultivo hasta la taza, con la posibilidad de buscar aseguramiento de la calidad en finca, los procesos de agregación de valor, la logística y torrefacción hasta el consumidor final.

- **Trace. Coffee ® ([www.trace.coffee](http://www.trace.coffee))**

Trace.Coffee ® es una plataforma de trazabilidad en cadenas de producción y suministro, así como de mercadeo digital que promueve cafés y sus historias socio productivas, combinando tecnologías de captura de información en campo, manejo dinámico de contenidos digitales y nuevos medios para crear una experiencia única, transparente y personal al consumidor.

El objetivo de Trace.Coffee es conectar a los compradores con los productores de café y sus historias, aumentando la transparencia, la visibilidad y el acceso a mercados nacionales e internacionales. Para ello, se captura información en el proceso de producción y se crean y publican las Historias Digitales del café y de la gente que hace parte de la cadena productiva. Estas historias están enfocadas a mostrar las cualidades humanas y sociales que existen detrás de cada café, así como la información técnica del proceso de producción y las características únicas de la región y del café que se produce.

El uso de tecnologías de la información y comunicaciones e internet trae consigo beneficios que impactan las dificultades del relevo generacional, la innovación de procesos y el incremento en las capacidades de los ciudadanos rurales en el agronegocio del café. El sector agropecuario colombiano requiere estrategias tecnológicas que permitan construir y afianzar relaciones directas entre productores y clientes finales, procurando unos menores márgenes de intermediación, mayores ingresos para los productores y mejores precios para los consumidores finales.

- **La Calidad del café**

La calidad en el café se entiende como el conjunto de cualidades físicas y sensoriales que tiene el grano y que se desarrollan durante la producción, se deben conservar durante los procesos en la finca y se deben expresar en la bebida; estas características están asociadas a los procesos de producción en finca, especialmente al manejo de cultivo, calibración y limpieza de equipos, procesos de fermentación, clasificación, lavado, secado y condiciones de almacenamiento. En la actualidad los caficultores colombianos restan importancia a los problemas que tienen y no implementan herramientas confiables y de bajo costo para identificar las variables que más inciden directamente en la calidad del producto, debido a los bajos precios de mercado. La anterior situación es originada principalmente por el bajo nivel de transferencia y adopción de tecnología de los productores, debido a la desinformación acerca de los avances técnicos de Cenicafé, a la falta de oferta comercial de dichas herramientas y equipos y a los elevados costos de los mismos, cuando están disponibles tecnológicamente en el mercado.

### **Objetivo General**

Desarrollar un modelo de apropiación tecnológica en núcleos demostrativos de innovación para café especial en Colombia.

## Objetivos Específicos

- Implementar un modelo de innovación tecnológica en núcleos demostrativos productivos para el incremento de la productividad y el aseguramiento de la calidad del café.
- Desarrollar procesos de apropiación tecnológica a nivel de cinco núcleos productivos y sus áreas de influencia, con el fin de lograr la interiorización e implementación de nuevas tecnologías.
- Construir y promover historias digitales socioproductivas de cafés especiales en mercados internacionales, para cada núcleo productivo utilizando la plataforma de Trace.Coffee.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se implementó una metodología participativa con agricultores, la cual demostró ser una estrategia fundamental para lograr procesos de apropiación tecnológica en comunidades rurales.

El proyecto contempló cuatro componentes estratégicos 1) Innovación en finca; 2) Modelo de trazabilidad; 3) Estrategia de relevo generacional y 4) Exportación de microlotes de cafés especiales; estos componentes se ejecutaron simultáneamente en tres fases.

En la Fase 1 se conformaron los núcleos de trabajo en los municipios, con el apoyo del servicio de extensión de la Federación de Cafeteros de Colombia. Se seleccionaron los grupos de máximo 30 caficultores, incluyendo 1 líder. Los líderes fueron los finalistas del concurso taza de la excelencia, quienes aceptaron participar con sus fincas como unidades demostrativas.

Se realizó la preparación y dotación de las fincas demostrativas con herramientas, equipos y demás elementos para la etapa de producción. El proyecto entregó un refractómetro, un selector de arvenses, un kit poscosecha plus (paleta lava café, rastrillo mezclador de café, medidor de fermentación y medidor de humedad) y un kit de secado solar de café.

Adicionalmente se entregaron kit poscosecha plus, a los restantes 29 vecinos, con el fin de lograr la réplica y apropiación de los procesos en sus fincas.

En la Fase 2 se emprendieron los procesos de formación de los caficultores y sus familias, se desarrollaron talleres de cosecha, beneficio húmedo, secado, almacenamiento y cultura digital.

Los talleres se desarrollaron en días de campo, en los cuales se realizaron presentaciones técnicas y prácticas para cada uno de los procesos mejorados. Todos los talleres desarrollados fueron evaluados, así como los resultados de la calidad de las muestras de café producidas en las fincas participantes, al inicio del proyecto para caracterizar la línea base y después de la implementación de las innovaciones para evaluar las mejoras logradas. Como apoyo, se elaboró una cartilla guía de mejores prácticas, la cual fue entregada a los caficultores participantes.

En esta fase también se capturó información en campo para la construcción de las historias digitales en Trace.Coffee. Para esto se visitaron todas las fincas núcleo, se realizaron las entrevistas a los caficultores y se tomaron muestras de suelos, foliares, café pergamino y se realizaron videos y fotografías, tanto de las personas como de la región y la finca desde un drone.

En la Fase 3 se crearon y publicaron las historias digitales y se desarrolló el análisis de muestras y búsqueda de clientes en ferias internacionales e internet. Toda la información disponible fue empleada en una estrategia de mercadeo digital y posicionamiento, la cual fue monitoreada y analizada.

En el módulo de fortalecimiento a las capacidades en uso y conocimiento de las TIC, se llevaron contenidos digitales del sector agropecuario (Agronet) a los productores participantes, se socializó la historia digital de cada núcleo y se resaltaron las ventajas de ampliar el acceso a mercados mediante cultura digital. Cada productor líder recibió tarjetas de presentación con los datos de contacto y vínculo a la página web en [www.trace.coffee](http://www.trace.coffee).

## RESULTADOS E IMPACTOS GENERADOS POR EL PROYECTO

Durante el desarrollo del proyecto se evidenció un proceso exitoso de uso y apropiación, tanto de tecnologías como de conocimiento por parte de los productores, dado que se logró que conocieran e implementaran nuevas herramientas y tecnologías sencillas y económicas, acorde a sus necesidades y condiciones de vida. Evidencia de ello son las mejoras en las fincas de los núcleos implementados, donde se encontraron incrementos en las calificaciones de las pruebas de taza con respecto a la línea base, mejora del factor de rendimiento en trilla y reducción en la cosecha de granos inmaduros.

Muchos de los productores beneficiarios desconocían al inicio del proyecto, herramientas (kit poscosecha), equipos (refractómetro) y tecnologías diferentes (secado solar usando marquesinas), para terminar dominando su manejo y entendiendo la importancia del control del proceso y de su principio de funcionamiento.

Otro aspecto interesante de mencionar es el interés mostrado por niños y jóvenes hacia los temas asociados a la producción y aprovechamiento de herramientas digitales para la comercialización de café. Algunos jóvenes con conocimientos tomaron roles de educadores de las personas que no estaban relacionados con los procesos. Esto comprueba que es posible lograr que los jóvenes permanezcan en el campo y colaboren con la empresa cafetera de sus padres, siempre y cuando se les reconozca el trabajo realizado y se implementen estrategias didácticas para vincularlos.

El tercer gran impacto logrado con el proyecto, es que el caficultor se siente nuevamente incluido en la cadena de valor, debido a la visibilización de su café a través de Tracce.Coffe y a la generación de relaciones más directas y cercanas entre productores y consumidores. De esta forma, se apropia de su responsabilidad de mantener y garantizar la calidad de su producto a través del control de los procesos, ya que es su cara, su historia y la de su café, la que aparece en internet y por la que debe responder.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización inicial de la línea base del proyecto ratificó la necesidad de implementar herramientas tecnológicas para cada proceso productivo. El 52% de las muestras presentaron defectos de taza originados en el beneficio húmedo; el 79,9% de las muestras mostraron humedad fuera del rango de comercialización debido a procesos deficientes de secado, mientras que el 38,5% de las muestras presentaron astringencia en la bebida debido a problemas en la recolección. Con la entrega de infraestructura y el desarrollo de las jornadas de entrenamiento en proceso se logró mejorar los procesos productivos y reducir a un 22% los defectos debido al beneficio, a 35% los defectos de secado y reducir la presencia de astringencia debido a cosecha de frutos inmaduros, a un 12% del total.

Al inicio del proyecto ningún caficultor contaba con vínculos a mercados nacionales o internacionales de especialidad; sin embargo con el desarrollo del mismo se obtuvieron microlotes de los cafés con perfiles de taza especiales, los cuales fueron presentados a clientes internacionales, logrando un vínculo comercial de largo plazo de 10 caficultores miembros de los núcleos desarrollados de 5 departamentos, con clientes tostadores en tres países (Francia, Estados Unidos y Colombia). Es de resaltar que por 3 años consecutivos, estos vínculos se vienen estrechando y creando nuevos espacios para nuevos caficultores de la estrategia, con nuevos tostadores. Es importante mencionar que los sobrepuestos recibidos por los productores se encuentran entre el 20% y el 45% con relación a los precios de compra en las regiones.

La capacitación en cultura digital tuvo un impacto considerable en los caficultores, si se tiene en cuenta que actualmente cuentan con correos electrónicos, que incorporaron a su vida diaria, llegando al grado de solicitar y enviar información a través de esta herramienta.

## CONCLUSIONES

La metodología de núcleos de innovación tecnológica, a través de la cual se trabaja con un productor líder, al cual sus vecinos productores pueden observar para aprender y reconocer las ventajas de la implementación de metodologías diferentes a las convencionales, resultó

ser una estrategia efectiva, puesto que el conocimiento e interés generado en los beneficiarios secundarios logró que ellos mismos se preocuparan por identificar las fallas en sus procesos, realizar cambios y presentar muestras de café para verificar resultados.

La responsabilidad de ser el beneficiario principal ocasionó que los productores tomaran, en la mayoría de los casos, un rol de líder y de exigencia por lograr los mejores resultados posibles tanto propios como de sus grupos de trabajo.

La plataforma Trace.Coffee ha demostrado ser una herramienta útil para conectar clientes finales con productores, logrando estrechar la brecha de comercialización. Los clientes se acercan a los productores y esto permite nuevas oportunidades de venta y monetización, precios más justos y mejor distribución del valor creado.

La posibilidad de tener el café en internet con la cara del productor, generó un sentido de pertenencia y propiedad en el productor, incentivando el mejoramiento y aseguramiento de la calidad del café. A su vez, llevando el concepto de café de origen a un término más personal, exclusivo, único y con impacto real en lo social.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Innovakit SAS. (2017). Cómo ser un caficultor especial. Gobernación de Cundinamarca. Mosquera. Cundinamarca.

Moreno, A. (2017). Cuatro retos para reanimar economía en el resto del año. Periódico El Tiempo. Mayo.

Revista Dinero. (2017). Colombia necesita mayor productividad cafetera para alcanzar las metas a 2020. Febrero.

## EVALUACIÓN DE TAMAÑO DE EMPAQUE EN LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE LA FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA*) VARIEDAD ALBIÓN

Ortiz Rocha, Alexandra<sup>1</sup>; Vargas-Cruz, J.<sup>2</sup>; Quintero-Arias, G.<sup>2</sup>; Acuña, J. F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Auxiliar de Investigación, GTI-Grupo de Investigación de Gestión en Tecnología Innovación y Diseño Agroindustrial -  
Universidad Nacional de Colombia. [glaortizro@unal.edu.co](mailto:glaortizro@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera M. Sc. Investigadora GTI-Grupo de Investigación de Gestión en Tecnología Innovación y Diseño  
Agroindustrial - Universidad Nacional de Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero Ph. D. Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia

### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo analizar la conservación de la fresa empacada en recipientes PET de diferentes tamaños comercialmente utilizados. Para esto, se tomó una muestra de fresas que fueron almacenadas en recipientes PET a una temperatura de 5°C y 75% de humedad relativa durante 10 días. Se registraron las variables de pérdida de peso, color, índice de madurez y firmeza de la corteza, realizando un análisis estadístico de comparación de medias. Los resultados evidenciaron que la pérdida de peso del producto varía dependiendo del tamaño del empaque empleado, mientras que las demás características no presentaron diferencias significativas durante su vida de almacenamiento. Se recomienda el uso de empaques pequeños para el almacenamiento de las fresas bajo dichas condiciones.

**Palabras claves:** Empaques PET, frutilla, fresa, Índice de color, Índice de madurez

### INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa*) es una fruta altamente perecedera, que no sobrepasa los dos días a temperatura ambiente. Es un producto sensible en poscosecha a las enfermedades (85%), a daños físicos (40%) y fisiológicos (2%) (Parisi M, Sinigaglia, & Fernandes, 2010), los cuales afectan los índices de calidad vinculados a su apariencia (color, tipo, forma, libre de defectos), a la firmeza, sabor, olor y valor nutricional. Por esto, el empaque en la fresa juega un papel importante en su conservación, ya que protege al producto del daño mecánico y de las deficientes condiciones ambientales durante su manipulación.



Las películas poliméricas se han utilizado como empaque de productos frescos por más de 35 años, brindando beneficios como el control en la pérdida de agua, protección contra la abrasión de la piel y una menor contaminación del producto durante su manipulación. Adicionalmente proporcionan una barrera que mitiga el daño causado por la cercanía con frutas en proceso de descomposición. (Kader, Zagory, & Kerbel, 1989) y disminuyen el movimiento de los gases respiratorios dependiendo de la permeabilidad relativa de la película, reduciendo la respiración del producto y potencialmente prolongando la vida útil del mismo.

Los envases rígidos son la solución más confiable para la distribución de productos sin alterar sus características, siendo esenciales para reducir deshidratación y daño mecánico durante distribución de frutas y hortalizas frescas, mínimamente procesadas (Kader, 2002) Es fundamental el hecho de minimizar el daño físico a los productos frescos si se quiere tener una óptima duración y el uso de envases adecuados es vital a este respecto (Thompson, 1996).

Diferentes estudios han demostrado la utilidad del empaque PET en frutas. (Dussán et. al. 2014) identificaron que en el mango se contribuye de forma positiva a la conservación de todas las propiedades de color, apariencia, firmeza y aceptabilidad sensorial, gracias a que es una atmósfera baja en oxígeno y con elevada concentración de CO<sub>2</sub>, evitando que suceda oxidación o degradación de carotenoides (pigmentos vegetales inestables en la presencia de oxígeno) durante el almacenamiento, lo cual previamente había sido reportado por Donadon & Durigan (2004); Singh, Chonhenchob & Singh (2007) y Chonhenchob, Chantarasomboon, & Singh (2007), los cuales concluyeron que la vida en anaquel de mangos pre-cortados puede ser extendida en empaques de PET.

De igual forma, Mogollón García & Cury Regino (2011) concluyeron que las condiciones del empaque y manejo de guayabas en fresco inciden en su adecuada conservación. En melocotones, se demostró que el envase de atmósfera modificada desaceleró la tasa de respiración de las frutas y retrasó la disminución en valores de acidez titulable, mantuvo el azúcar de la fruta y contenido de sólidos solubles, firmeza de la pulpa, vitamina C, contenido

de jugo, y frenó el deterioro, disminuyendo la lesión de las frutas y el desarrollo de pardeamiento (Deily & Rizvi, 1983; Zoffoli, Aldunce, & Crisosto, 1998).

Otras investigaciones (Serna C, Torres V , & Ayala A, 2011), evidencian que el tipo de empaque afectó significativamente la pérdida de peso, los sólidos solubles y el color en la pitahaya amarilla (*Stenocereus queretaroensis*) y tuvo una influencia positiva en la prevención de la pudrición en el durazno (Radomille de Santana & Benedetti, 2010). Con los empaques se pueden obtener productos de fácil consumo y con un largo tiempo de almacenamiento y pueden utilizarse tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo (Singh, Singh, Sane, & Nath, 2013).

Esta investigación tuvo como fin identificar el comportamiento de los frutos de fresa al emplear empaques de PET de diferentes tamaños, para determinar el volumen apropiado para el mantenimiento de las características de calidad, disminuyendo las pérdidas y aumentando la vida útil de la fresa en fresco.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de fresa (*Fragaria x ananassa*) de la variedad Albión, cultivadas en estado de madurez fisiológica (4 y 5 según la NTC 4103), las cuales fueron empacadas en tres recipientes PET de diferentes tamaños (Tabla 1). y almacenadas durante 10 días bajo condiciones de refrigeración con una temperatura de 5°C y una humedad relativa media del 75%, condiciones promedio de almacenamiento en el mercado colombiano.

Tabla 1. Tamaño de empaques usados

<b>Empaque</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Alto (cm)</b>	<b>Peso Aprox.(g)</b>
<b>E1-Pequeño</b>	17,80	15,00	5,00	250
<b>E2-Mediano</b>	21,20	16,50	8,30	500
<b>E3-Grande</b>	25,00	19,00	11,00	1000

Se realizaron pruebas de laboratorio cada tercer día durante 10 días, obteniendo datos de peso, Índice de Color (IC) e índice o Relación de Madurez (RM) de tres muestras al azar del producto

**Características de la muestra**, las fresas fueron seleccionadas de forma aleatoria, y contaron las siguientes características (tabla 2).

Tabla 2. Características de la muestra

Característica	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Largo (mm)	50,96	60,10	42,00	6,93	13,69
Diámetro (mm)	39,52	45,80	32,00	3,13	7,99

**Pérdida de peso:** se determinó mediante la diferencia entre pesos (Herrera Arévalo, 2010) usando una balanza eléctrica de precisión de 0,1g. Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso (%PP) y se calcularon teniendo en cuenta Peso inicial ( $P_i$ ) y el peso final ( $P_f$ ) haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\%PP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} * 100 \quad (1)$$

**Color:** se determinó con un colorímetro Konica minoltaCR-410 ®, con una superficie de medición circular de 8 mm de diámetro, tomando como referencia, las coordenadas del modelo cromático CIELab\*. Se calculó el Índice de Color (IC) a partir de la ecuación 2, desarrollada por Jiménez-Cuesta en 1981 (Bello, Eyman, Almirón, Cocco, & Torres, s.f). Para estimar la diferencia de color ( $\Delta E$ ) entre muestras, se empleó la ecuación 3 y poder evidenciar si se generan variaciones entre empaques.

$$IC = \frac{a^* * 1000}{L^* * b^*} \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2} \quad (3)$$

**Relación de madurez (RM):** Se determinó la relación de madurez de cada muestra empleando la ecuación 4.

$$R.M. = \frac{S.T.S. (^{\circ}Brix)}{\% \text{ de ácido}} \quad (4)$$

**Análisis estadístico:** Se planteó un modelo de experimento aleatorio con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ), en donde como parámetros se manejaron los tres tratamientos (empaques), y como variables dependientes, la pérdida de peso, el IC y la RM. Con este modelo y los datos obtenidos, por medio del uso del software STATISTIX 8, se determinaron las diferencias significativas entre las distintas variables medidas para los diferentes tratamientos (empaques).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pérdida de peso:** Esta variable presentó para estos tres tratamientos, una diferencia marcada del comportamiento de los empaques E1 y E2 respecto al E3 del quinto al decimo día (figura 1), donde se aprecia que las fresas que presentaron un mejor comportamiento fueron las refrigeradas en el empaque pequeño E1, puesto que presentaron la menor pérdida de peso. Esto coincide con los resultados mostrados por Serna C, Torres V , & Ayala A (2011). Por medio del análisis estadístico en donde se obtuvo un valor de significancia de 0.3174 para pérdida de peso. considerando que sí  $p < 0.05$ , existen diferencias significativas.

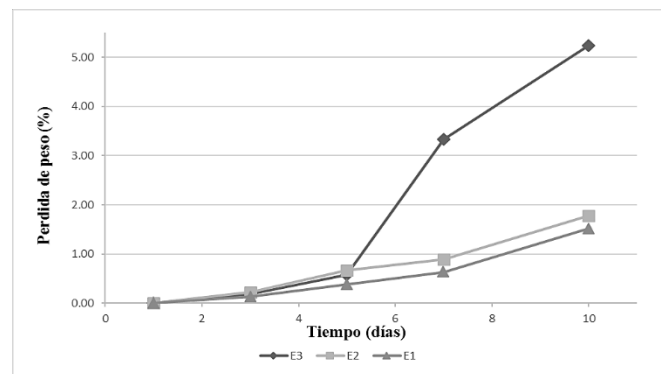


Figura1. Pérdida de peso en porcentaje, en función del tiempo y del empaque.

**Color:** Según el análisis estadístico realizado, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en ninguno de los parámetros e índice de color para los empaques. Donde se obtuvieron valores de significancia de 0.3248, 0.2174 y 0.3346 para los parámetros  $1^*$ ,  $a^*$  e Índice de color respectivamente.

En la luminosidad (L) no se evidencian diferencias entre los empaques como lo muestra la figura 2. Liang, Ji, & Huang (1998) concluyeron que el oscurecimiento del pericardio de la fruta ocurre con valores de pérdida de peso son superiores al 7,6%; de la misma forma, Wu, Su, & Chen (1997) sugirieron que para que el oscurecimiento ocurra, la pérdida de masa debe ser superior al 9% del peso de la fruta. Esto explica el hecho de que no se encontraran diferencias significativas al comparar los tres tratamientos, dado que en ninguno de los casos la pérdida de peso llegó a superar dichos porcentajes.

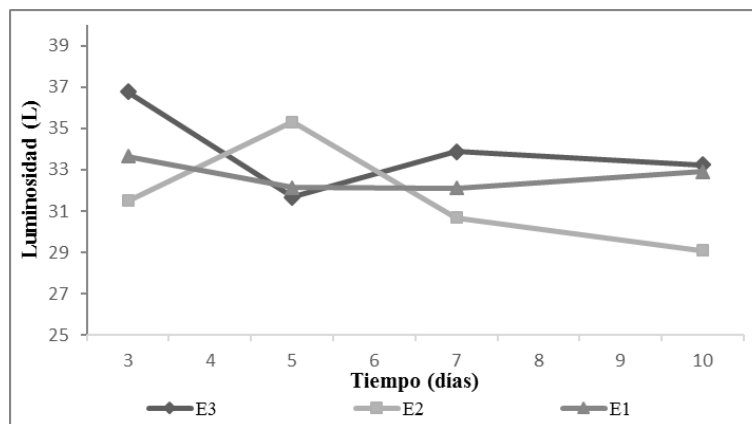
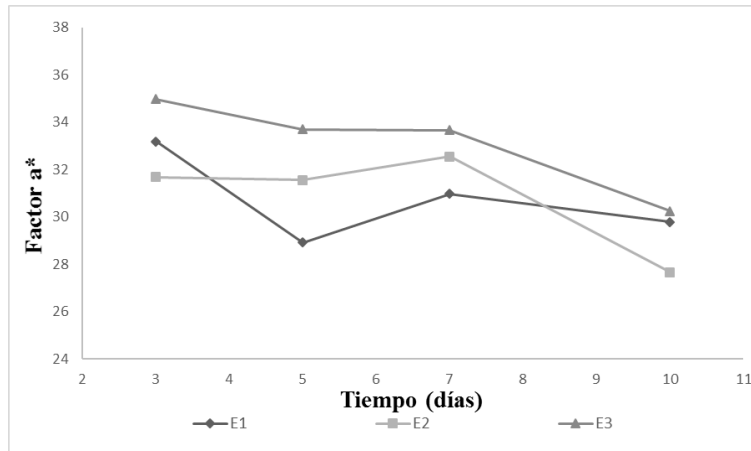


Figura 20. Variación de la luminosidad en función del tiempo para cada uno de los empaques.

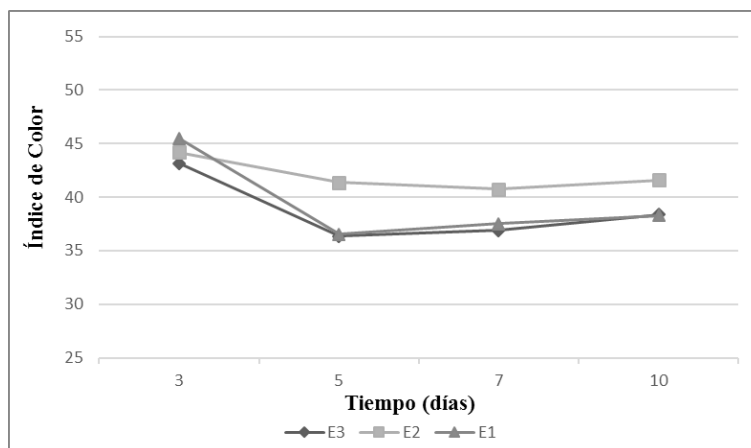
En la escala CIELab\*, el parámetro a\* permite medir la variación del color de rojo a verde, mientras que b\*, la variación entre amarillo y azul. Por esta razón no es necesario el análisis de b\* debido a que las fresas no sufren cambios evidentes en estas tonalidades (Alcántara, 2009).

Al evaluar a\*, es vital tratar de disminuir la variación de este parámetro en el tiempo de almacenamiento de la fresa, y observando la figura 3 se determina que todos los empaques presentan un comportamiento decreciente similar. Por esta razón en términos de análisis para una tonalidad roja, no se encontró diferencia entre los empaques. Lo cual concuerda con A. Restrepo & M. Cortes en 2009 en donde se obtuvieron resultados similares en la disminución de l\* y a\*, argumentando que se debe a la pérdida de agua por parte del fruto y la degradación de los pigmentos rojos respectivamente.



*Figura 3. Variación del factor  $a^*$  en función del tiempo y empaque.*

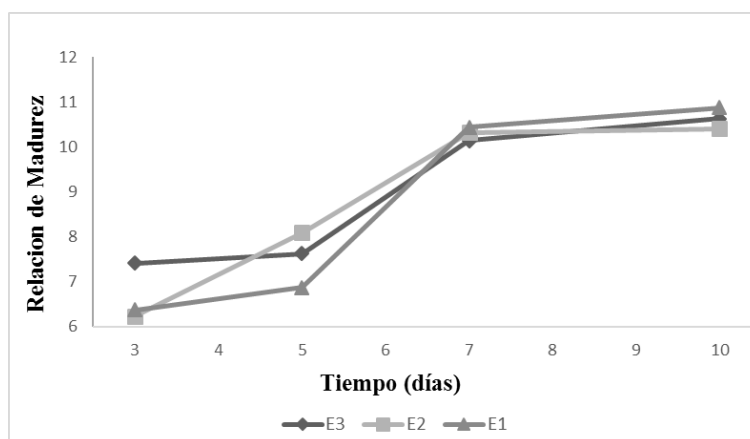
Con el análisis anterior de las figuras 2 y 3 no se obtuvo diferencia entre los empaques al momento de evaluar luminosidad y tonalidad roja, por esta razón se puede observar que en la figura 4, tampoco se encontraron diferencias en el índice de color entre empaques siendo el comportamiento de E1 y E3 muy similares entre sí, mientras el de E2 mantiene el comportamiento decreciente pero menor a los anteriores, todos en términos del tiempo.



*Figura 4. Variación del Índice de Color en función de tiempo y empaque.*

**Relación de madurez (RM):** Grajales Valencia (2013), trabajando en fresa (variedad Camarosa) afirma que los empaques conservan el producto de la transpiración, haciendo su proceso de degradación más rápido, lo cual coincide con la similitud en los resultados

obtenidos en los tres empaques sin importar el tamaño de este. Esto también se confirma por medio del análisis estadístico en donde se obtuvo un valor de significancia de 0.9758 para la relación de madurez. Donde sí  $p < 0.05$ , existen diferencias significativas, demostrando que sin importar el empaque, el comportamiento es similar (figura 5).



*Figura 5. Variación de RM en función del tiempo y empaque.*

## CONCLUSIONES

El tamaño de empaque en la refrigeración tiene efectos significativos en la pérdida de peso de la fresa bajo las condiciones de almacenamiento planteadas en este estudio. Al lograr disminuir la pérdida de peso, es posible disminuir el oscurecimiento del fruto, favoreciendo así la calidad del mismo. Se recomienda el uso del empaque pequeño (E1) para el almacenamiento de las fresas bajo una temperatura de 5°C y 75% de HR, en comparación con los empaques E2 y E3 ya que, al existir menos fresas en el interior del empaque, el intercambio gaseoso será inferior, además facilitará la manipulación y al momento de apilarlas.

Al ser empacadas en recipientes pequeños, la distribución del peso será dada correctamente, en las esquinas del empaque evitando que las fresas deban soportar pesos adicionales.

Al tener un empaque de mayor tamaño, será mayor la cantidad de fresas contenidas y deberán soportar mayor peso y presión durante el almacenamiento, mientras que, al ser más pequeño, este efecto disminuirá. Todo esto con lleva a los resultados del presente estudio, en donde al

ser más pequeño el empaque, los frutos perderán menor cantidad de agua, mitigando la pérdida de peso.

## REFERENCIAS

A. Restrepo, M. Cortes, B. R. (2009). Shelf Life of Strawberry ( *Fragaria ananassa* Duch . ) Fortified With Vitamin E. *Dyna*, 159, 163–175.

Alcántara, M. G. (2009). Estimación de los daños físicos y evaluación de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado, 279.

Bello, F., Eyman, I., Almirón, N., Cocco, A., & Torres, F. (s.f). Cartillas para determinar el índice de color de mandarinas y naranjas. Concordia-argentina.: Instituto nacional de tecnología agropecuaria.

Chonhenchob, V., Chantarasomboon, Y., & Singh , J. (2007). Quality changes of treated fresh- cut tropical fruits in rigid modified atmosphere packaging containers. *Technol. Sci.*, 20, 27-37.

Deily, K. R., & Rizvi, S. H. (1983). OptimAisation of parameters for packaging of fresh peaches in polymeric films. *Horticultural abstract*, 53(6), 4886-4887.

Donadon, J. R., & Durigan, J. F. (2004). Production and preservation of fresh-cut ‘tommy atkins’ mango chunks. *Acta hort*, 645, 257–260.

Dussán Sarria, S., Torres León, C., & Hleap Zapata, J. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes empaques durante el almacenamiento refrigerado de mango `tommy atkins´ mínimamente procesado,. *Inf. Tecnol*, 25(4), 123-130.

Grajales Valencia, N. (2013). Desarrollo de empaque para proteger y conservar la fresa condiciones organolépticas para su distribución. Pereira: Universidad catolica popular del risaralda.



Herrera Arévalo, A. (2010). *Métodos no destructivos*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Kader, A. A. (2002). *Post-harvest technology of horticultural crops*. Oakland: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.

Kader, A. A., Zagory, D., & Kerbel, E. L. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*, 28(1), 1-30.

Liang, H. H., Ji, Z. L., & Huang, X. . (1998). Estudio sobre las técnicas de envasado y almacenamiento para litchi fruit almacenado en la temperatura de la habitación. *Revista de Ciencias de la fruta*, 15(2), 158-163.

Mogollón Garcia, C., & Cury Regino, K. I. (2011). Comportamiento poscosecha y evaluación de calidad de fruta fresca de guayaba en diferentes condiciones de almacenamiento. *Revista facultad nacional de agronomía*, 62(3), 6207-6212.

Parisi M, C. M., Sinigaglia, C., & Fernandes, C. M. (2010). Quantification of postharvest damages in strawberries in brazilian wholesale market. *International horticulture congress*.

Radomille de Santana, L. R., & BenedettiI, B. C. (2010). Modified atmosphere packaging extending the storage life of 'douradão' peach. *Revista brasileira de fruticultura*, 32(4), 1009-1017.

Serna C, L., Torres V , L. S., & Ayala A, A. A. (Diciembre de 2011). Efecto del empaque y del 1-mcp sobre características físicas, químicas y fisiológicas de pitahaya amarilla. *Rev.bio. Agro*, 9(2), 139-149.

Singh, S., Chonhenchob, V., & Singh, J. (2007). Testing and evaluation of quality changes of treated fresh-cut tropical fruits packaged in thermoformed plastic containers. *Journal of testing and evaluation*, 35(5), 522–528.

Singh, Z., Singh, R., Sane, V., & Nath, P. (2013). Mango - postharvest biology and biotechnology. *Critical reviews in plant sciences*, 32(4), 217-236.

Thompson, A. K. (1996). *Postharvest technology of fruits and vegetables*,. Oxford: Blackwell science.

Wu, Z. X., Su, M. X., & Chen, W. X. (1997). Investigación avanzada en el mecanismo del litchi browning. *CHINA AGRICULTURAL PRODUCTS STORING AND PROCESSING TECHNICAL ANNALS*, 294-302.

Zoffoli, J. P., Aldunce, J. P., & Crisosto, C. H. (1998). Modified atmosphere in fruits of elegant lady and ohenry peaches. *Postharvest news and information*,, 9(3), 1000-1005.

## EVALUACIÓN DE HOJAS DE AMERO EN LULO (SOLANUM QUITOENSE LAM.) COMO EMPAQUE PARA MEJORAMIENTO DE RESISTENCIA MECÁNICA

José A. Gamboa G<sup>1</sup>, jagamboag, Juan D. Álvarez C<sup>1</sup>, juadalvarezcar, Sarah C. Ortiz<sup>1</sup>, scarrascoo, Laura S. Lastra A<sup>1</sup>, islastraa, Pablo J. Ruiz R<sup>1</sup>, pjruiizr, Harrison Pérez-B<sup>1</sup>, hlperezb, Claudia P. Pérez R<sup>2</sup>, cpperezr [[@unal.edu.co](mailto:@unal.edu.co)]

<sup>1</sup>. Estudiante, <sup>2</sup>. Docente [Universidad Nacional de Colombia] 3165000 Ext: 16611

**Resumen:** La calidad del lulo durante el transporte, se ve comprometida por daños mecánicos que éste sufre debido a la ausencia del uso de empaques adecuados que lo protejan desde su recolección hasta la comercialización. En esta investigación se realizó una comparación entre dos tratamientos, lulos con empaque (CE) de amero y lulos sin empaque (SE) con el fin de determinar su efecto en la calidad del producto durante el transporte. Se simuló la condición más crítica a la que estarían sometidos los lulos transportados en canastilla plástica por una vía en mal estado, dejándolos caer desde 80 cm de altura en 25 repeticiones y posteriormente se almacenaron en condiciones ambientales durante 12 días. Para cada día de medición, se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento, a los cuales se les determinó pH y firmeza. De igual forma, se procedió para la evaluación y seguimiento de los procesos fisiológicos como evaluación de pérdida de peso, color (escala CIELab\*) e intensidad respiratoria. Por último se realizó un tratamiento estadístico ANOVA ( $p < 0.05$ ). Se encontró reducción en pérdida de peso de un 59% en tratamiento (CE) comparado con (SE). Se pudo evidenciar que el empaque con amero no afectó los valores de pH, mantuvo una uniformidad en el color del producto y provocó disminución en la intensidad respiratoria, en comparación con el tratamiento sin empaque.

**Palabras claves:** Conservación, empaque, daño mecánico.

## EVALUATION OF AMERO LEAVES IN LULO (*Solanum Quitoense* Lam.) AS PACKAGE TO IMPROVE MECHANIC RESISTANCE

**Abstract:** The quality of the lulo during transport, is compromised by mechanical damages it suffers due to the lack of the use of an appropriate package, which protects the product from collection until commercialization. In this investigation, a comparison between two treatments was done. The first one was done with packed lulos (CE) and the second with unpacked lulos (SE). The main goal of the project was to determine the effect of the package in the product quality during the transport process. The most critical condition was simulated for lulos emulating the situation where they were transported in baskets through a highway in adverse conditions, dropping them 25 times from a height of 80 cm. After this process, the lulos were stored at environmental conditions for 12 days. For every measurement day, three repetitions were made for each treatment, to which pH and firmness were determined. In the same way, we proceeded to evaluate physiological processes such as evaluation of weight loss, color (CIELab\* scale) and respiratory intensity. The statistic treatment used was the ANOVA. A reduction in weight loss of 59% in treatment (CE) compared to (SE) was found. It was evidenced that the packing with amero did not affect the pH values, it maintained a uniformity in the color of the product and caused a decrease in the respiratory intensity, in comparison with the treatment without package.

**Key words:** Conservation, package, mechanic damage.

### 1. INTRODUCCIÓN

El lulo (*Solanum quitoense* Lam.) es un fruto climatérico originario de las vertientes oriental y occidental de la cordillera de los Andes, en Perú, Ecuador y Colombia (Quinchía, 2016). Es un fruto tropical que al madurar, su exocarpo se torna naranja. Se desarrolla en zonas húmedas, en altitudes entre 1600 y 2450 msnm (Forero *et al.*, 2015), donde la temperatura varía entre 14 y 22 °C.

En Colombia, la producción de lulo ha venido incrementándose considerablemente. Entre los departamentos con mayor producción de lulo están Antioquia, Huila, Cundinamarca, Valle

del Cauca, Santander y Nariño (MA y DANE, 2014). Ya que el lulo es altamente perecedero, se restringe un poco el consumo fresco y la comercialización, además genera pérdidas para productores y consumidores, por tanto es importante encontrar alternativas que conserven el lulo por más tiempo y mantengan la calidad (Balaguera-López *et al.*, 2014).

Esta investigación propone la implementación de hojas de amero como empaque individual para lulos y evalúa la capacidad que tiene este material de protegerlos frente a daños mecánicos, los cuales se representan en pérdidas de producto durante el proceso de transporte.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Adquisición del fruto:** Los lulos utilizados para este proyecto fueron provenientes del departamento del Huila y llevados al Laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

**Tratamiento del amero:** Se trabajó con hojas de amero secas, garantizando la no proliferación de hongos durante los días de tratamiento. Además se realizó un proceso de desinfección con una mezcla de agua e hipoclorito de sodio. Posteriormente se realizaron orificios en el amero para garantizar ventilación.

**Diseño experimental:** Fueron empacados en hojas de amero 25 lulos con ayuda de bandas de goma para sujetar cada empaque. Para esta prueba experimental, la totalidad de lulos CE y SE (50 unidades) fueron sometidos a una sola serie de 25 caídas a 80cm de altura contenidos en una canastilla de 80x40 cm de base y 20cm de altura.

Los datos se registraron los días 18 (día del impacto), 20, 23, 25, 27 y 30 del mes de octubre de 2017, tres repeticiones para cada tratamiento (CE y SE). Se determinó pH y firmeza (pruebas destructivas) así como pérdida de peso, intensidad respiratoria y el color (pruebas no destructivas).

**Métodos destructivos y no destructivos:** El pH se determinó por medio del uso del potenciómetro eléctrico. La firmeza se obtuvo por medio del analizador de textura Brookfield CT3 con una punta cilíndrica de 4mm de diámetro, con el cual se determinó la carga máxima

en  $kg/cm^2$ . Para la determinación del índice de color (IC) se utilizó un colorímetro Minolta CR 300. Para la valoración de pérdidas de peso se utilizó una balanza de precisión de 0.1 g y la intensidad respiratoria (IR) se midió con cámaras herméticas de respiración de 2 L y sensor infrarrojo Vernier para registrar la concentración de  $CO_2$  en ppm.

Análisis estadístico: Los datos experimentales fueron analizados mediante el paquete estadístico SPSS (Statistic Package for the Social Sciences). Para este análisis se realizaron las matrices de correlación de Pearson y se halló el coeficiente de correlación de Pearson que ofrece una medida de la asociación lineal entre dos variables.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los estadísticos descriptivos (Tabla 1) y las matrices de correlación de Pearson para lulos CE y SE (Tabla 2).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos para lulos CE y SE

CON EMPAQUE						
	IC	Cm	pH	IR	PP	IM
Media	6.81	929.09	2.78	56.54	8.15	36.11
Desv. Típica	1.18	823.45	0.62	8.83	3.82	6.19
Coef. Variación	17.32	88.62	22.35	15.60	46.94	17.14
SIN EMPAQUE						
	IC	Cm	pH	IR	PP	IM
Media	5.79	881.81	2.79	125.28	19.04	34.48
Desv. Típica	2.88	575.96	0.70	50.62	10.73	10.68
Coef. Variación	49.83	65.31	24.91	40.40	56.34	30.97

Donde, IC: Índice de Color, Cm: Carga Máxima ( $gr \cdot f$ ), IR: Intensidad Respiratoria ( $mg CO_2 kg^{-1} h^{-1}$ ), PP: Pérdida de Peso (%), IM: Índice de Madurez.

Tabla 2. Matriz de correlación de Pearson - Lulos CE y SE

CON EMPAQUE							SIN EMPAQUE						
	IC	Cm	pH	IR	PP	IM		IC	Cm	pH	IR	PP	IM
IC	1						IC	1					
Cm	-.417	1					Cm	-.338	1				
pH	-.174	-.038	1				pH	-.527	.094	1			
IR	-.418	.540*	.305	1			IR	.591*	-.459	-.561	1		
PP	-.719**	.420	.109	.372	1		PP	-.379	.233	.556	-.812**	1	
IM	.577*	-.161	-.374	-.306	-.627*	1	IM	-.212	-.440	.035	.191	.053	1

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).  
\* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En la Tabla 3 se presentan valores correspondientes a diferencias significativas entre los tratamientos para de las variables evaluadas. Como se observa, son muchos los valores mayores al nivel de significancia 0.05, por lo tanto para dichos casos, no fueron suficientes los datos experimentales para generar cambios entre los tratamientos. En los valores menores al mencionado, se asume cambios significativos aportados por el empaque en lulos.

Tabla 3. Diferencias significativas

	IC	Cm	pH	IR	PP	IM
Día 1	.244	.296	-	-	-	-
Día 2	.329	.379	.453	.099	.253	.093
Día 5	.299	.951	.808	.037	.241	.317
Día 7	.336	.471	.084	.001	.258	.502
Día 9	.692	.059	.952	.035	.226	.198
Día 12	.689	-	-	-	.252	-

### 3.1 pH

En este estudio, el valor medio de pH encontrado fue de 2.78 y 2.79 para los tratamientos evaluados, los cuales corresponden al valor reportado por **Loaiza et al. (2014)**, quienes encontraron que el pH varía ligeramente dependiendo el grado de madurez del lulo, entre 2.8 y 2.9. Adicionalmente se observa un comportamiento similar en las variaciones de pH durante el almacenamiento para los lulos CE y SE,

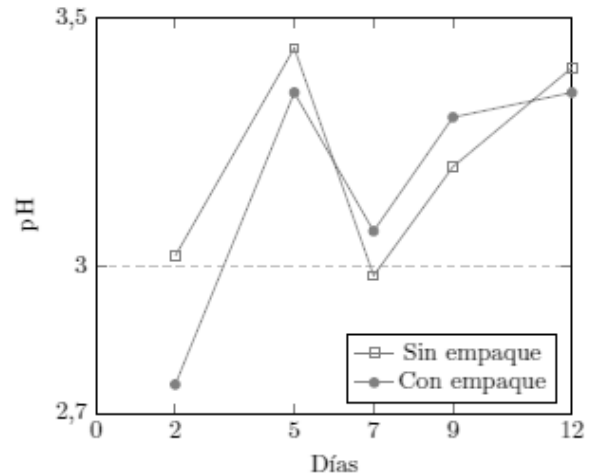


Figura 1. Variación de pH

Figura 1, y se evidencia en la ausencia de diferencias significativas Tabla 3. **Mejía et al. (2012)** por su parte, reportan valores de pH mayores a 3.6, sin embargo en su procedimiento fue utilizado un indicador de color en lugar de pH-metro digital.

### 3.2 Firmeza

La firmeza del lulo tiende a disminuir debido a la pérdida de enzimas que actúan en la pared celular (**Vega, 2014**) y esta condición se vuelve crítica por daños mecánicos ocasionados por inadecuada manipulación en poscosecha y transporte (**Nieto, 2011**). En la Figura 2 se evidencia el beneficio que recibe el lulo al tener el amero como empaque, pues reduce que la deformación en el producto, sin embargo, por falta de datos no se presentan diferencias significativas en el análisis estadístico.

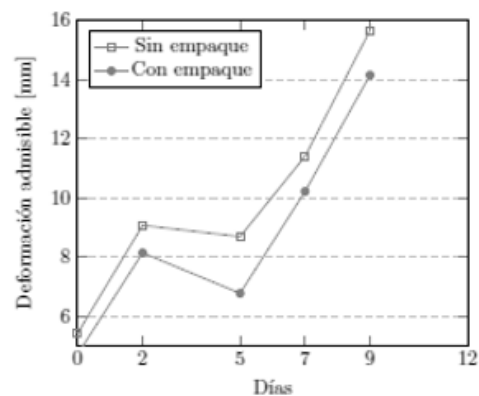


Figura 2. Comportamiento de la deformación



### 3.3 Peso

Para lulos SE la pendiente es más inclinada y en todos los días de medición muestra mayores pérdidas. Para el final del ensayo las pérdidas de SE triplicaron a las de CE, siendo de 26.29% y 8.6% respectivamente. Esto puede deberse al hecho que al evitar las lesiones ocasionadas por el daño mecánico se inhibe la pérdida de agua y por consiguiente la pérdida de producto, como indica **Díaz (2012)**.

**Forero-Cabrera et al. (2017)** en su investigación de empaque de lulo con hoja de plátano, para condición de 15 caídas, reportaron pérdidas de peso de 8.7 % y 6.6% en lulos SE y CE después de 15 días.

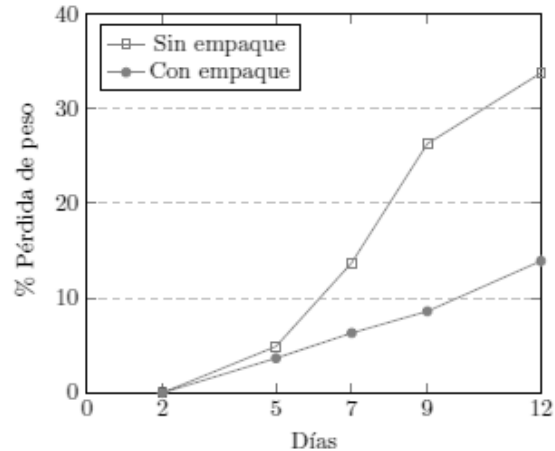


Figura 3. Variación del peso

### 3.4 Color

Los lulos SE, los cuales sufrieron mayores lesiones, presentaron mayor variación en el color mostrando al final del ensayo colores oscuros (Figura 4), esto coincide con lo reportado por **Freifield (2005)**, donde indica que las afectaciones mecánicas producidas por impactos, generan una coloración parda por exposición al aire de los tejidos dañados. También se evidenció pérdida de coloración verde en lulos CE y llegó a un color amarillo-naranja, como se encontró en la investigación de **Valdivieso (2014)** cuando el fruto es climatérico y está en su etapa de maduración.

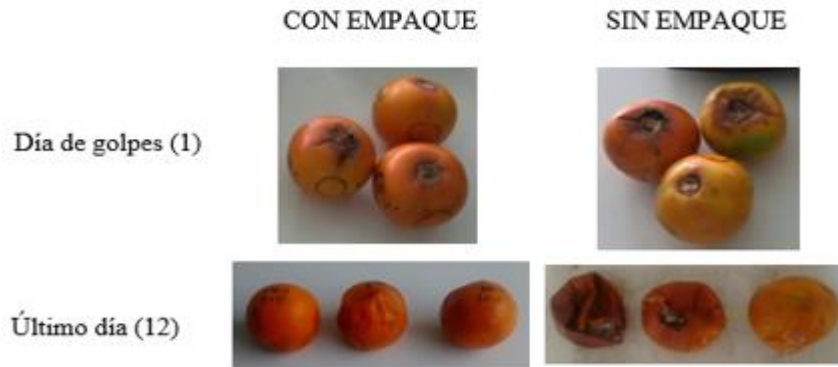


Figura 4. Variación de color de lulos de inicio a final

### 3.5 Respiración

Los lulos SE presentaron alta intensidad respiratoria en comparación con los lulos CE, con una media de 125.28 y 56.54 [ $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ] respectivamente, Tabla 1. La diferencia fue bastante grande y se evidencia en el análisis estadístico, pues se obtuvo diferencias significativas, Tabla 3. A pesar de estar empacados individualmente, los lulos CE tuvieron buena ventilación y no se incrementó la IR, pues como reporta **Hassan R. et al. (2015)**, cuando se trata de un fruto climatérico, el empaque debe tener suficientes aberturas para colaborar en la buena respiración. **Ochoa-Vargas et al. (2016)** encontró que en el crecimiento del lulo la intensidad respiratoria aumenta en el pico climatérico y luego decrece hasta la senescencia, sin embargo este comportamiento se da en frutos que no presentan ningún tipo de estrés o alteraciones mecánicas.

## 4. CONCLUSIONES

En esta investigación, el empaque individual para lulos con hojas de amero reduce los daños mecánicos, que se pueden ocasionar durante el transporte. Permite conservar los atributos de calidad del producto ralentizando la pérdida de peso y preservando su firmeza.

La baja variación de pH permite inferir que las características químicas de los lulos no fueron afectadas por el empaque, es decir que tanto el amero seco como el lulo presentan una excelente compatibilidad en un corto plazo. Así mismo, se encontró que el color y el aroma característico del lulo perduran con presencia del empaque y no se ven afectados por éste.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balaguera-López, H. E., Ramírez, D. A., Almanza-Merchán, P. J., & Herrera, A. O. (2014). The duration of immersion in CaCl<sub>2</sub> and refrigeration modify some physical characteristics of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit during the postharvest stage. *Acta Horticulturae*, 1016, 147-150.
- Ana Elizabeth Díaz, M., & Brochero, H. L. (2012). Parasitoids associated with the fruit borer of the solanaceus *neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Colombia. *Revista Colombiana De Entomología*, 38(1), 50-57.
- Forero, D. P., Orrego, C. E., Peterson, D. G., & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *FOOD CHEMISTRY*, 169, 85-91.
- Forero-Cabrera, N. M., Gutiérrez-Pacheco, S., Rivera-Acosta, J., Silva-Dimaté, A. F., & Sánchez-Sáenz, C. M. (2017). Banana leaf as packaging of lulo for different storage temperatures and the effects on postharvest characteristics. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 107-115.
- Freifield, D. S. (2005). Desarrollo de métodos analíticos para la detección de cambios metabólicos frente a situaciones de estrés en fruta fresca. 302.
- Hassan R. El-Ramady, Éva Domokos-Szabolcsy, Neama A. Abdalla, Hussein S. Taha, & Miklós Fári. (2015). Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage. *Sustainable Agriculture Reviews*. 15, 65-152.
- Loaiza, D. I. G., Santos, L. E. O., Mahecha, P. V., & Amariles, H. D. V. (2014). Changes in physicochemical properties of the fruit of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) harvested at three degrees of maturity. *Acta Agronómica*. 63 (1) 2014, 11-17.
- Ministerio Agricultura. [MA], & DANE. (2014). Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria.

Mejía Clara María, D., Duverney Gaviria, A., Alba Lucía Duque, C., Lucero Rengifo, R., Enrique Aguilar, F., & Alvaro Hernán Alegría, S. (2012). Physicochemical characterization of the lulo (*solanum quitoense lam.*) castilla variety in six ripening stages. *Vitae*, 19(2), 157-165.

Nieto, J. M. R., & Sánchez, L. P. R. (2011). Exytraction of pectic enzymes from of lulo (*solanum quitoense lam*) involved in softening. *Acta Biologica Colombiana*, 16(2), 193-204.

Ochoa-Vargas, L. M., Balaguera-López, H. E., Ardila-Roa, G., Pinzón-Sandoval, E. H., & Álvarez-Herrera, J. G. (2016). Growth and development of lulo (*solanum quitoense lam.*) in the municipality of San Antonio del Tequendama (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 347-359.

Quinchía, F., & Cabrera, C. (2016). Manual técnico del cultivo.

Valdivieso, F. A. B., & Daza, J. (2012). Image analysis application to determine variations in shape, size and color of biological structures: Determination of changes in size and color of the fruit of *solanum sp.* in the process of maturation. *Biomedical Engineering and Informatics, BMEI*, 286-289.

Vega, A. M., Álvarez, L. J., y Gálvez, M. Y. L. (2014). Operaciones culturales, recolección, almacenamiento y envasado de productos agrícolas. Ediciones Paraninfo, S.A.

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE MANDARINA ARRAYANA (CITRUS RETICULATA) DESVERDIZADO CON ETILENO EXÓGENO DE INMERSIÓN

**Andrea Herrera Cardona** Universidad Nacional de Colombia [anherreraca@unal.edu.co](mailto:anherreraca@unal.edu.co), Colombia.

; **Tatiana Segura Monroy**; Universidad Nacional de Colombia [tseguram@unal.edu.co](mailto:tseguram@unal.edu.co), Colombia.

**Eliana Camila Mora Bautista**; Universidad Nacional de Colombia [ecmorab@unal.edu.co](mailto:ecmorab@unal.edu.co), Colombia.

**Harold Arley Torres Cordero**; Universidad Nacional de Colombia [hatorresc@unal.edu.co](mailto:hatorresc@unal.edu.co), Colombia.

**Claudia Patricia Pérez Rodríguez**; Universidad Nacional de Colombia [cpperezr@unal.edu.co](mailto:cpperezr@unal.edu.co), Colombia.

**Jhon Harrison Pérez Benavides**. Universidad Nacional de Colombia, [jhperezb@unal.edu.co](mailto:jhperezb@unal.edu.co), Colombia.

### RESUMEN

La aplicación de etileno es utilizada para el desverdizado de frutos no climatéricos, degradando la clorofila que recubre la cáscara del fruto. El objetivo de la investigación es hallar una concentración adecuada de etileno mediante inmersión para el desverdizado de mandarina arrayana, determinando así, cuál de ellas sobresale en términos de las exigencias del mercado actual. Se manejaron tres tratamientos, en los cuales se varió la concentración entre 500 ppm, 1000 ppm, y un grupo de control, seleccionando una muestra de mandarinas inicialmente de coloración verde intensa. La solución de etileno correspondiente se aplicó por inmersión durante 1 minuto, y posteriormente los frutos fueron secados por convención forzada. Finalmente, para las dos concentraciones manejadas se obtuvieron modificaciones de color sin alterar considerablemente las pérdidas de peso ni pH o color interno, además, el parámetro de sólidos solubles totales se comportó similar en los tres tratamientos. Debido a esta semejanza en los resultados, la selección fue principalmente bajo los criterios de tasa de respiración y economía en la aplicación, concluyendo así, que el tratamiento de 500 ppm cumple con el objetivo planteado.

**Palabras clave:** Madurez fisiológica, color, consumidor.

## ABSTRACT

Applying ethylene is used for the degreening of non-climacteric fruits, degrading the chlorophyll that covers the peel of the fruit. The objective of the research is to find an adequate concentration of ethylene by immersion for the de-greening of Arrayana tangerine, determining which one of them excels in terms of the current market demands. Three treatments were handled, in which the concentration oscillated between 500 ppm, 1000 ppm, and a control group, selecting a sample of tangerines initially of intense green coloration. The corresponding ethylene solution was applied by immersion for 1 minute, and subsequently the fruits were dried by forced convection. Finally, for the two concentrations handled, color changes were obtained without significantly altering the weight loss or pH or internal color. In addition, the parameter of total soluble solids behaved similarly in all three treatments. Due to this similarity in the results, the selection was mainly under the criteria of respiration rate and economy in the application, this way concluding that the treatment of 500 ppm meets the stated objective.

**Keywords:** Physiological maturity, color, consumer.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el abastecimiento de los alimentos ha sido el principal objetivo de las comunidades, primando así la necesidad de los productos en comparación con la variedad y calidad. Sin embargo, este concepto ha cambiado a causa de la ampliación de los mercados, donde la oferta ha aumentado y existe una competitividad comercial por la venta de los alimentos. Como consecuencia de esto, ha surgido el sujeto de consumidor como parte clave de los eslabones en la cadena poscosecha, debido a que es él, quien finalmente toma la decisión de adquirir un fruto.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de convertir la producción más atractiva al consumidor, mejorando su calidad y apariencia. Como respuesta a esta condición, aparece una técnica conocida como desverdizado, la cual tiene la intención de

proporcionar a los frutos maduros internamente, el color característico del mismo. Esta tecnología es usada principalmente en cítricos que hayan alcanzado su madurez fisiológica, la cual es esencial para su consumo, pero no son perceptiblemente atractivos al público. Por lo tanto, en el presente trabajo se estudió el efecto que genera específicamente en la mandarina, contribuyendo a mejorar la calidad de uno de las frutas más consumidas, y a su vez la competitividad del sector agrícola en Colombia.

### METODOLOGÍA

El material utilizado fueron 63 unidades de *mandarina arrayana* de color verde intenso en estado de madurez fisiológica, provenientes del departamento del Quindío. La selección de los individuos se realizó con base en la NTC 4086, donde menciona el estado de los productos cítricos para la aplicación del desverdizado, posteriormente, el montaje experimental se desarrolló en el Laboratorio de Postcosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Por consiguiente, fueron sometidos a un proceso de desinfección en una solución de hipoclorito de sodio al 15%, para luego realizar la inmersión en etileno, utilizando un regulador fisiológico conocido como Ethrel, el cual libera este compuesto en presencia de tejidos vegetales.

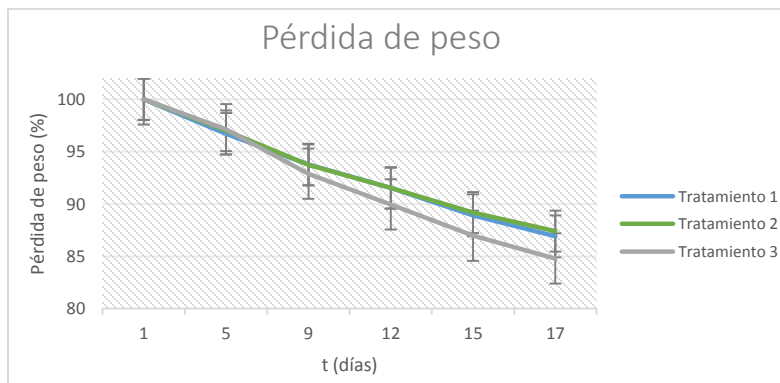
Con el fin de evaluar su incidencia, los frutos fueron clasificados en tres grupos: grupo 1 (T1) con una concentración de etileno de 500 ppm, grupo 2 (T2) con 1000 ppm y grupo 3 (T3) como testigo. Las mandarinas se almacenaron en tres canastillas contiguas, separando con un plástico el grupo de testigo, a temperatura ambiente (18°C). El montaje se realizó durante tres semanas y el conjunto de variables consideradas para el análisis fueron: la pérdida de peso, se realizó usando una balanza de precisión de 0.001 kg; el color externo, se midió con un colorímetro usando la configuración del espacio tridimensional CIE  $L^*a^*b^*$ ; la tasa respiratoria (TR), se halló por medio de cámaras de respiración de 2L dotadas con sensores infrarrojos “Vernier” de concentración  $CO_2$  en ppm; los sólidos solubles totales (SST), se midieron con un refractómetro manual óptico; el PH y la acidez (ATT), se determinaron con pH-metro y una solución de NaOH al 0,1N; el análisis de consistencia se realizó con un penetrómetro digital de donde se evaluaron la carga máxima y la deformación en la zona

ecuatorial del fruto. Los registros se realizaron por triplicado por cada una de estas. El análisis de resultados se realizó a través de matrices de correlación Pearson y el método estadístico Tukey, para observar comportamientos, dependencias, y variaciones entre los resultados de los tratamientos. Además, se presenta una comparación de estos, con literatura referente al tema.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de pérdida de peso

La pérdida de peso por intervalo de tiempo estudiado estuvo entre 1,77% y 4,26% y fue similar en los tres tratamientos, esto se evidencia en la gráfica 1 dispuesta a continuación. Comparando los valores obtenidos con otros proyectos de investigación sobre desverdizado (Lafuente, Alférez, & Romero, 2014), se encontraron valores menores de porcentaje de pérdida de peso para otro cítrico (naranja). Sin embargo el montaje experimental difería en las temperaturas manejadas, siendo en el artículo citado de 2°C Y 12°C, las cuales son menores a la empleada en el montaje, por lo tanto es razonable la disminución del metabolismo del fruto por bajas temperaturas y una menor pérdida de peso.

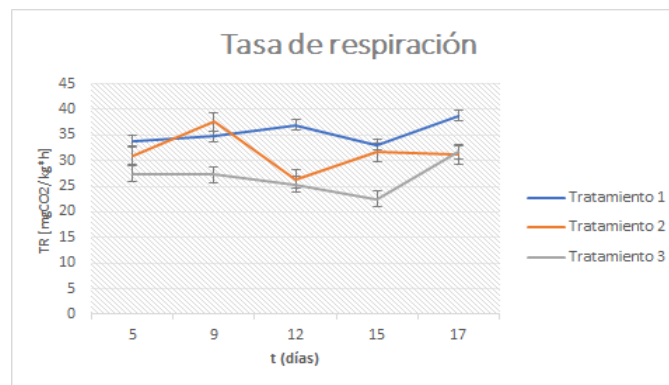


**Figura 1. Efecto de las concentraciones de Etileno en la pérdida de peso de la mandarina**



## Análisis de respiración

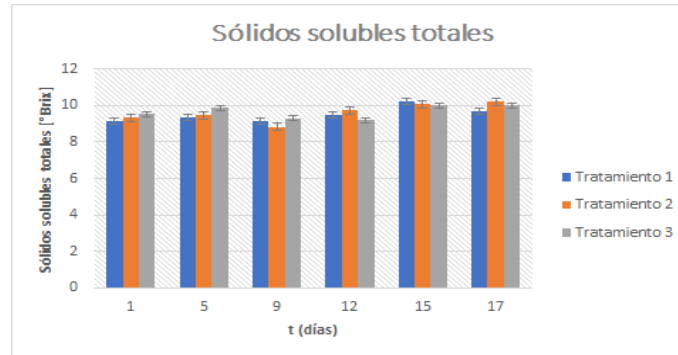
En cuanto la respiración, según procesos experimentales similares consultados (Mayuoni, Tietel, Patil, & Porat, 2011), en cítricos la exposición a etileno exógeno podría aumentar la tasa respiratoria de los productos, aunque los datos obtenidos en el laboratorio y representados en la gráfica 2, revelan que esta se comporta por intervalos de manera creciente y decreciente, donde T1 y T3 muestran una tendencia similar, pero sin mayor correlación con respecto a T2, a pesar de esto se mantiene el hecho de que la tasa respiratoria es mayor para los tratamientos con etileno, lo cual concuerda con el estudio consultado. La anormalidad del comportamiento en la TR para el tratamiento 2, el cual es el correspondiente a la mayor concentración de etileno, puede deberse a un estrés inducido con la inmersión realizada en el proceso experimental.



**Figura 2. Efecto de las concentraciones de Etileno en la tasa de respiración.**

## Sólidos solubles totales y pH

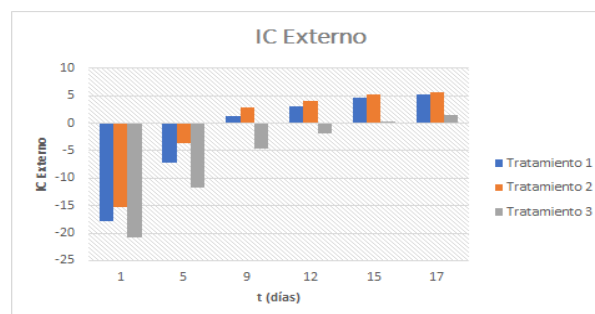
Según la gráfica 4 de sólidos solubles totales, no se observa diferencia significativa entre los comportamientos de los tratamientos por cada día, indicando la permanencia de la calidad interna del fruto incluso con la aplicación de etileno, el mismo hecho se presentó en los registros de pH. Resultados similares se encuentran en la literatura (Moscoso-Ramírez & Palou, 2014), donde concluyen que el desverdizado de algunos frutos cítricos, incluyendo la mandarina, no tiene efectos significativos sobre atributos de calidad interna. Para llegar a esto, en la investigación citada realizan un análisis a través de una gráfica semejante.



**Figura 3. Comparación de sólidos solubles totales para los tres tratamientos manejados.**

### **Análisis coloración externa**

Se puede observar que la mayor acción del etileno al momento de degradar la clorofila e incentivar la síntesis de carotenoides, se da desde la inmersión hasta el noveno día con cambios muy representativos. A partir del día 12 su comportamiento no representó cambios bruscos hasta llegar a la senescencia. Según la norma de producción de integrada de cítricos de la comunidad valenciana (DOGV 3909, de 1-3-2001), el IC mínimo en el momento de la comercialización debe ser superior a +6 para las variedades de mandarina excluyendo las Satsumas, según la gráfica 7, el tratamiento que cumplió los requerimientos de comercialización fue el número 2 para 1000ppm. Lo anterior concuerda con que el etileno “acelera la desaparición del color verde de la cáscara de estos cítricos y permite que se manifieste la coloración proporcionada por los pigmentos carotenoides, cuya síntesis, a su vez, puede ser acelerada por el proceso” (Jiménez Cuesta et al., 1983; Agustí, 2000).



**Figura 4. Índice de color externo para los tres tratamientos manejados.**



**Figura 5. Registro fotográfico de los tratamientos.**

### **Análisis matrices de correlación**

La matriz de correlación se obtuvo en las 9 variables entre los tres tratamientos, por ejemplo, el índice de correlación en los T1 y T2 para la tasa de respiración con respecto al color externo es mayor comparado con el comportamiento del testigo, siendo a su vez mayor en T2, lo cual concuerda con las teorías y estudios nombrados en el análisis de datos de la intensidad respiratoria. Además, realizando un análisis detallado la TR en el tratamiento 2, es la segunda variable que se relaciona mejor con respecto a las 8 faltantes, deduciendo de lo anterior que para la concentración de 1000 ppm la respiración se modifica en un alto grado, a diferencia del tratamiento que usaba la mitad de la concentración. Además, teniendo en cuenta que se analizaron las variables de los tres tratamientos con respecto al índice de color externo, la mejor solución dada para disminuir la tasa respiratoria es el tratamiento 1.

Tabla 1. matriz de correlación de Pearson para el tratamiento 1. Obtenida de SPSS

TRATAMIENTO 1									
	Pérdida de peso	Índice de color externo	Tasa respiratoria	pH	Acidez total titulable	Índice de color interno	Sólidos solubles totales	Deformación	Carga máxima
Pérdida de peso	1								
Índice de color externo	,932 <sup>**</sup>	1							
Tasa respiratoria	-,639	-,822 <sup>**</sup>	1						
pH	,183	,424	-,819 <sup>**</sup>	1					
Acidez total titulable	-,611	-,462	,440	-,277	1				
Índice de color interno	,828 <sup>**</sup>	,603	-,274	-,216	-,558	1			
Sólidos solubles totales	,740	,612	-,449	,341	-,751	,583	1		
Deformación	,937 <sup>**</sup>	,858 <sup>**</sup>	-,711	,324	-,822 <sup>**</sup>	,794	,778	1	
Carga máxima	-,226	-,142	-,307	,746	-,299	-,369	,328	,008	1

Tabla 2. matriz de correlación de Pearson para el tratamiento 3. Obtenida de SPSS

TRATAMIENTO 3									
	Pérdida de peso	Índice de color externo	Tasa respiratoria	pH	Acidez total titulable	Índice de color interno	Sólidos solubles totales	Deformación	Carga máxima
Pérdida de peso	1								
Índice de color externo	,957 <sup>**</sup>	1							
Tasa respiratoria	-,406	-,575	1						
pH	,228	,413	-,892 <sup>**</sup>	1					
Acidez total titulable	-,778	-,754	,597	-,546	1				
Índice de color interno	-,236	-,090	,296	-,100	,299	1			
Sólidos solubles totales	,334	,196	,002	,104	-,206	-,573	1		
Deformación	,965 <sup>**</sup>	,901 <sup>**</sup>	-,343	,208	-,687	-,324	,554	1	
Carga máxima	,002	-,114	,767	-,865 <sup>**</sup>	,547	,255	,039	,068	1

## Prueba estadística de Tukey

Tabla 3. Comparación de los tratamientos con respecto a las variables - Tukey.

	TRATAMIENTO			Significancia
	500 ppm	1000 ppm	Testigo	
PÉRDIDA DE PESO [%]	AB*	AB*	B*	N > 95% N* > 90%
IC EXTERNO	A*	A*		
TR [mgCO <sub>2</sub> /kg*h]	A*	A*		
pH	A	A	A	
ATT [%]	A	A	A	
IC INTERNO	A	A	A	
STS [°Brix]	A	A	A	
DEFORMACIÓN [mm]	A	A	A	
CARGA MÁXIMA [kg/cm <sup>2</sup> ]	A	A	A	

Tabla 4. Valores de significancia de las variables por tratamiento.

	TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
PÉRDIDA DE PESO [%]	1-2	0,998
	1-3	0,939
	2-3	0,918
IC EXTERNO	1-2	0,94
TR [mgCO <sub>2</sub> /kg*h]	1-2	0,903
pH	1-2	0,981
ATT [%]	1-3	0,991
IC INTERNO	1-3	0,956
STS [°Brix]	2-3	0,982
DEFORMACIÓN [mm]	1-2	0,994

En la tabla anterior se presenta el análisis de la relevancia de los tratamientos aplicados, en relación de las variables consideradas en el diseño. Es posible determinar que las variables de pH, color interno y deformación, no presentaron diferencias entre los tratamientos evaluados. Esto implica que, para estos parámetros, la aplicación o no del etileno, no influiría en su comportamiento. Por otro lado, la aplicación del etileno afecta la pérdida de peso, el color externo y la tasa de respiración, independiente de la cantidad aplicada. Así mismo, el tratamiento 2 presentó semejanza en su observación de sólidos solubles con el control establecido. Al momento de seleccionar la mejor técnica para realizar un desverdizado, prima el análisis del color externo reflejado por cada tratamiento. Sin embargo, el análisis por el método de Tukey arroja el resultado de gran significancia entre este criterio y las dos concentraciones de etileno evaluadas. Por lo tanto será indiferente el resultado obtenido en el producto para el color externo, si se usa alguna de las concentraciones planteadas.

### CONCLUSIONES

Se encontró que la aplicación de etileno no influye significativamente en parámetros como la pérdida de peso y la concentración de sólidos solubles. Esto resulta positivo comercialmente ya que no afecta la calidad inicial de las mandarinas. Por otra parte, con las matrices de correlación se determinó que la aplicación de etileno influye en las variables como incrementar la tasa respiratoria y la acidez total titulable, por el contrario, se reafirma que no afecta en la pérdida de peso ni en la deformación. Finalmente, el tratamiento seleccionado fue el de 500 ppm, debido a que arrojó los resultados esperados frente a la coloración externa, tuvo una tasa respiratoria con un comportamiento uniforme, mejorando la apariencia visual de este producto, además, de generar menor inversión

### BIBLIOGRAFÍA

De Jesus, P. (2005). Influencia del estado de madurez y de la aplicación de etileno en la conservación postcosecha de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) var. Clemenules. Universidad de Chile, Chile.

Guerrero López, I. J., Mercado Silva, E., Vázquez Barrios, M. E., Súmano Muñiz, O., Escamilla Obregón, P. C., & Reyes Ortega, R. (1981). Efecto del Eteflon sobre la maduración de frutos de mango, cv. "KEITT" y "KENT," (1), 1-5.

ICONTEC. Frutas frescas. Naranja Valencia. Especificaciones. NTC 4086. Bogota D.C.: 1997.

Jiménez Cuesta, M.; Cuquerella, J.; Martínez Jávega, J.M. 1983. Teoría y práctica de la desverdización de cítricos. Hoja Técnica INIA. Nº 46. 22 pp

Lafuente, M. T., Alférez, F., & Romero, P. (2014). Postharvest Biology and Technology Postharvest ethylene conditioning as a tool to reduce quality loss of stored mature sweet oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 94, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.011>

Mayuoni, L., Sharabi-schwager, M., Feldmesser, E., & Porat, R. (2011). Postharvest Biology and Technology Effects of ethylene degreening on the transcriptome of mandarin flesh. *Postharvest Biology and Technology*, 60(2), 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.11.009>

Mayuoni, L., Tietel, Z., Patil, B. S., & Porat, R. (2011). Postharvest Biology and Technology Does ethylene degreening affect internal quality of citrus fruit? *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.005>

Moscoso-ramírez, P. A., & Palou, L. (2014). Postharvest Biology and Technology Effect of ethylene degreening on the development of postharvest penicillium molds and fruit quality of early season citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.008>

Tietel, Z., Weiss, B., Lewinsohn, E., Fallik, E., & Porat, R. (2010). Postharvest Biology and Technology Improving taste and peel color of early-season Satsuma mandarins by combining high-temperature conditioning and degreening treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.015>

## EFFECTO DE INDUCTORES FLORALES EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE FRUTOS DE MANGO CV. TOMMY ATKINS

### EFFECT OF FLOWERING INDUCTIVE SUBSTANCES ON POST-HARVEST QUALITY OF MANGO CV. TOMMY ATKINS FRUITS

**Edwin Rolando Espitia Basallo.** Ingeniero Agrónomo<sup>1</sup>. [erespitiab@unal.edu.co](mailto:erespitiab@unal.edu.co). (+57) 3202609424.

**Angélica Johanna Puentes Gil** Ingeniera Agrícola<sup>1</sup>. [ajpuentesg@unal.edu.co](mailto:ajpuentesg@unal.edu.co) (+57) 3194243158.

**Elkin Alberto Aponte Gómez.** Estudiante de Ingeniería Agrícola<sup>1</sup>. [eaaponteg@unal.edu.co](mailto:eaaponteg@unal.edu.co). (+57) 3164023379.

**Andrés Mauricio Montaña Rincón** Estudiante de Ingeniería Agrícola<sup>1</sup>. [anmmontanari@unal.edu.co](mailto:anmmontanari@unal.edu.co). (+57) 317 4586450.

**Claudia Patricia Pérez Rodríguez.** Profesora Asociado. Facultad de Ingeniería<sup>1</sup>. [cpperezr@unal.edu.co](mailto:cpperezr@unal.edu.co). (+57) 301  
6565881.

**Diego Miranda Lasprilla.** Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agrarias<sup>1</sup>. [dmirandal@unal.edu.co](mailto:dmirandal@unal.edu.co) (+57) 316  
6259668.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia- Bogotá- Colombia

#### RESUMEN

Los inductores florales son productos de síntesis química utilizados para generar un cambio metabólico en la planta que permita modificar las épocas de cosecha y, de esta manera, ofrecer un beneficio económico para los agricultores, comercializando sus productos en períodos de baja oferta. Estas prácticas, ampliamente recomendadas para el manejo de los cultivos, no han sido suficientemente evaluadas en su efecto sobre la calidad poscosecha de los frutos. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes tratamientos de inducción floral (T1: Testigo sin aplicación, T2: 2% de Nitrato de potasio KNO<sub>3</sub>, T3: 4% de KNO<sub>3</sub>, T4: 25 mL de Paclobutrazol (PBZ), T5: 50 mL de PBZ; T6: 75 mL de PBZ) aplicados a un cultivo de mango cv. Tommy Atkins previamente establecido en el municipio de La Mesa, Cundinamarca, Colombia. Los frutos cosechados fueron almacenados durante 21 días a temperatura ambiente (20 ± 2 °C), periodo durante el cual se evaluaron variables de color, firmeza, intensidad de respiración, pérdida de peso, pH, acidez total titulable (ATT), sólidos solubles totales (SST), índice de madurez (IM), características morfológicas. No se observó un efecto significativo de los tratamientos con KNO<sub>3</sub>, pero sí de los tratamientos con PBZ, los cuales generaron impactos en la composición química, intensidad de respiración y composición morfológica de los frutos respecto al testigo que vale la pena considerar.



**PALABRAS CLAVE:** Cultivo, paclobutrazol, nitratos, composición química, morfología.

### ABSTRACT

The floral inductive substances are chemical synthesis products used mainly to generate a metabolic change in the plant that allows to handle the harvest times and, in this way, obtain an economic benefit for the farmers who harvest their products in periods of low offer. These management practices that have been widely recommended for the management of crops, have not been evaluated enough about their influence on the post-harvest quality of the fruits. Thus, in this study the effect of the application of different floral induction treatments was evaluated (T1: Control without application, T2: 2% of potassium nitrate (KNO<sub>3</sub>), T3: 4% of KNO<sub>3</sub>, T4: 25 mL of Paclobutrazol (PBZ), T5: 50 mL of PBZ, T6: 75 mL of PBZ) applied to a of mango cv. Tommy Atkins crop previously established in the municipality of La Mesa, Cundinamarca, Colombia. The fruits harvested from these treatments were stored for 21 days at room temperature ( $20 \pm 2$  ° C), during which variables of color, firmness, respiration, weight loss, pH, total titratable acidity (TTA), total soluble solids (TSS), maturity index (IM) and morphological characteristics were evaluated. There was no significant effect of the KNO<sub>3</sub> treatments, contrary to PBZ treatments, that generated impacts on the chemical composition, respiration intensity and morphology fruits with respect to the control.

**KEY WORDS:** Crop, paclobutrazol, nitrates, chemical composition, morphology.

### INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es un frutal perenne perteneciente a la familia Anacardiaceae, originario de la India y distribuido en regiones tropicales (Asohofrucol & Corpoica, 2013). El fruto es ampliamente consumido en el mundo por su excelente sabor, valor nutricional y propiedades antioxidantes (Wang, Yang, Song, Chen, & Zhao, 2016). En Colombia se cultiva ampliamente el mango cv. Tommy Atkins; que se caracteriza por su porte alto con frutos de coloración roja intensa de forma oblonga, peso promedio de 550 g, pulpa de textura firme y medianamente fibrosa (ICONTEC, 2003). En el departamento de Cundinamarca la producción se concentra en el segundo semestre del año (García Lozano,



2010), esta condición particular del cultivar provoca una sobre oferta de frutos en el mercado regional generando precios de venta desfavorables para los productores.

La manipulación floral puede modificar la floración respecto a temporadas normales y si se realizara de forma planificada podría evitar la coincidencia de picos máximos de cosecha (García Lozano, 2010). El proceso de inducción floral se presenta con la modificación metabólica de yemas vegetativas que se transforman en reproductivas (Taiz & Zeiger, 2002). En cultivos comerciales se recurre al uso de inductores florales, los cuales son moléculas químicas con acción inhibidora o promotora de diferentes hormonas vegetales (Pérez-Barraza, Urias-López, Gómez-Jaimes, & Vázquez-Valdivia, 2011). Entre ellas, el Paclobutrazol (PBZ) es un triazol retardante del crecimiento vegetativo y acelerador de los procesos de floración y fructificación, usado de manera difundida en frutales de climas templados y tropicales (Pérez-Barraza et al., 2011). Su acción consiste en el bloqueo de la síntesis de giberelinas, además de reducir los niveles de ácido abscísico, etileno y auxinas, así como aumentar el nivel de citoquininas (Pérez-Barraza et al., 2011). En cuanto a los nitratos, como  $KNO_3$ , su acción se fundamenta en la promoción de la actividad de nitrato reductasas que los convierten en nitritos, conllevando a la producción de aminoácidos como la metionina, precursor directo del etileno en plantas y necesario para la floración (García et al., 2008).

Aunque son diversos los estudios que evalúan el efecto de inductores florales en los ciclos productivos del mango, son escasos aquellos que caracterizan el efecto de dichas aplicaciones en las características de los frutos. Por esta razón, se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes dosis de PBZ y  $KNO_3$  como inductores florales en la calidad de frutos de mango cv. Tommy Atkins producidos en el municipio de La Mesa, Cundinamarca- Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En un cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) ubicado en el municipio de La Mesa, Cundinamarca (N 4°35'42'' O 74°29'06'') a una altitud promedio de 921 msnm, se estableció un ensayo de inducción floral en el mes de agosto del año 2016, con los siguientes tratamientos; T<sub>1</sub>: Testigo sin aplicación, T<sub>2</sub>: 2% de  $KNO_3$ , T<sub>3</sub>: 4% de  $KNO_3$ , T<sub>4</sub>: 25 mL de

Paclobutrazol (PBZ), T<sub>5</sub>: 50 mL de PBZ y T<sub>6</sub>: 75 mL de PBZ. Los frutos fueron cosechados en punto de madurez comercial, grado 0 según NTC 5210 (ICONTEC, 2003), correspondiente a color predominantemente verde y abultamiento en perímetro peduncular (formación de hombros) y almacenados a temperatura ambiente (20±2°C). Se realizó el seguimiento de la calidad externa e interna de los frutos durante 21 días de almacenamiento (dda) y la caracterización morfológica para frutos en grado 3 de madurez según NTC 5210 (ICONTEC, 2003). Se llevaron a cabo evaluaciones de tipo no destructivo tales como el seguimiento de la intensidad de respiración (sensores infrarrojos de CO<sub>2</sub> Vernier acoplados a sistema de adquisición de datos LabQuest® 2), pérdida de peso (cálculo por diferencia de pesos obtenidos por balanza digital) y evolución del color externo (colorímetro digital Konica-Minolta® calibrado en espacio de color CIELab); así como evaluaciones de tipo destructivo como el cambio de firmeza (Texturómetro digital Brookfield®), color interno (colorimetría), pH (potenciómetro Hanna®), acidez total titulable (ATT) (titulación ácido-base con NaOH 0,1 N) y sólidos solubles totales (SST) (Refractómetro manual). La relación o índice de madurez (IM) de los frutos se calculó como la relación entre el valor de SST y ATT. Las dimensiones de los frutos se determinaron con un calibrador manual y los porcentajes de cáscara, pulpa y semilla mediante pesaje de las partes.

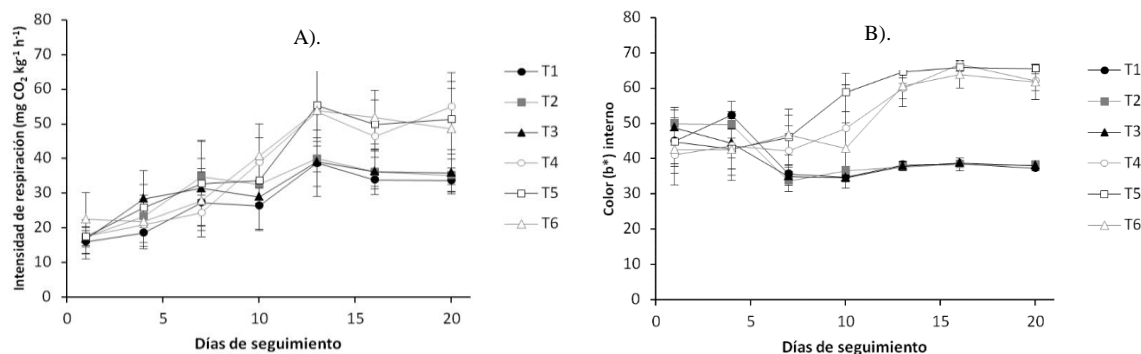
Se utilizó un diseño en bloques incompletos desbalanceados (DBID), cuyo factor de análisis fue el tipo y dosis de inductor floral y el factor de bloqueo fue la edad de los árboles (4 y 7 años). El análisis estadístico fue realizado mediante el software SAS 9.1 (SAS Institute Inc.). Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con pruebas comparativas de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para determinar diferencias entre los tratamientos evaluados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La intensidad de respiración aumentó para los tres tratamientos con PBZ respecto al testigo a partir de 10 y 13 dda, momento para el cual se alcanzó el pico de respiración climatérico para todos los tratamientos (Figura- A). El efecto del inductor contrasta con lo reportado por Vázquez-Luna, Martínez-Castellanos, Rivadeneyra-Domínguez y Díaz-Sobac (2014) para mango cv. Manila, quienes indican que dosis en campo de 1.5 g de i.a/metro lineal generan frutos con menor intensidad de respiración en comparación con el testigo. Respecto a la

pérdida de peso, no se encontraron diferencias significativas de los tratamientos comparados con el testigo, presentando su valor máximo aceptable a los 7 dda, de acuerdo con el porcentaje de pérdida de peso máximo de 4 % propuesto por Nunes & Edmond (2001).

La formación del color de la cáscara y pulpa fue influenciada por los tratamientos con PBZ (25, 50 y 75 mL), obteniendo valores menores del parámetro  $a^*$  y mayores para el parámetro  $L^*$  y  $b^*$ . El valor del parámetro  $b^*$  fue significativamente más alto que la del testigo a partir del día 7 de seguimiento para la cáscara y el día 13 para la pulpa (Figura-B), resultados que concuerdan con lo reportado por Lolaei, Mobasheri, Bemana y Teymori (2013), posiblemente al reducir la síntesis de antocianinas como responsables de la coloración roja en la cáscara del fruto y al aumentar la síntesis de los pigmentos amarillos predominantes en la corteza y pulpa del mango, lo cuales de acuerdo con (Singh et al., 2013), son el todo-trans- $\beta$ -caroteno para los carotenoides y la violaxantina para las xantofilas.



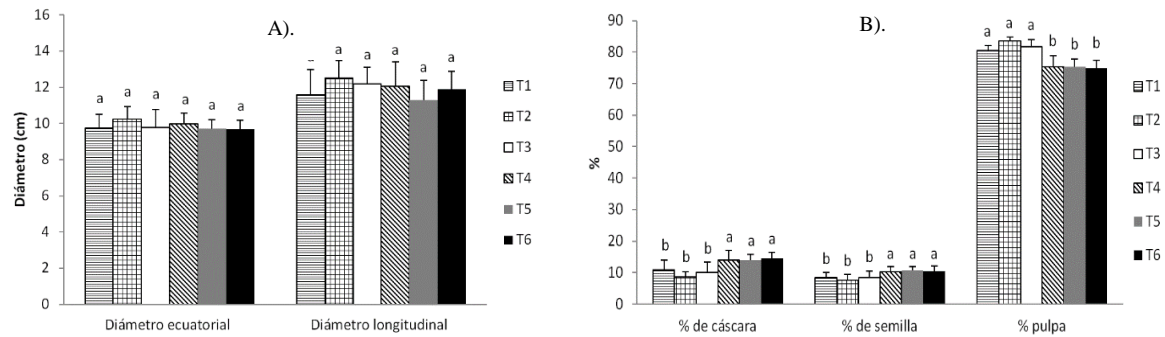
**Figura 1.** A). Intensidad de respiración y B). Color  $b^*$  Interno de frutos de Mango cv Tommy Atkins durante 20 días de almacenamiento. T1: Testigo sin aplicación, T2: 2% de KNO<sub>3</sub>, T3: 4% de KNO<sub>3</sub>, T4: 25 mL de Paclobutrazol (PBZ), T5: 50 mL de PBZ; T6: 75 mL de PBZ.

Los frutos de mango de todos los tratamientos mantuvieron la firmeza durante aproximadamente 7 y 10 dda y a partir de ese momento presentaron una tendencia descendente, la cual de acuerdo con Quintero, Giraldo, Lucas & Vasco (2013), se debe a la hidrólisis de almidones que genera la degradación de amiloplastos, produciendo carbohidratos solubles en agua como glucosa, fructosa y sacarosa. Adicionalmente, se encontró que los tratamientos con 25, 50 y 75 mL de PBZ generaron un incremento en la

carga máxima soportada por la pulpa, siendo significativa para el tratamiento con 75 ml de PBZ respecto al testigo a los 10 y 13 dda, indicando que dosis altas favorecen una mayor consistencia de la pulpa, lo cual, de acuerdo con Vázquez-Luna et al. (2014), puede deberse a un papel del PBZ en la disminución de actividad de enzimas responsables del ablandamiento de los tejidos en el fruto.

El pH incrementó a largo del almacenamiento, mostrando valores significativamente inferiores para tratamientos de PBZ respecto al testigo a los 7 y 10 días de almacenamiento. La ATT decreció pasando de valores cercanos a 0,8 % a 0,2 % de ácido cítrico, presentando un aumento estadísticamente significativo a los 10 y 13 días del tratamiento con 25 ml de PBZ respecto al testigo, coincidiendo con el pico de respiración climatérico y los resultados reportados por Singh y Dhillon (1992) en frutos de mango cv. Dusehri con dosis de 20 g de producto/planta. Para el caso de los sólidos solubles totales (SST), se observó un aumento significativo en 1, 4, 13 y 20 dda, para el tratamiento con 25 mL de PBZ respecto al testigo, concordando con los resultados reportados por Lolaei et al. (2013) para dosis de 2 y 3 g de i.a/metro lineal de PBZ.

No se observó influencia de los tratamientos en el tamaño de los frutos (Figura-A), sin embargo, los tratamientos con PBZ provocaron un incremento en la relación porcentual de semilla (hasta 86%) y cáscara (entre 31 y 37%), además de la reducción en el porcentaje de pulpa (entre 7 y 13%) en comparación con los frutos testigo (Figura-B). Éste último resultado contrasta con lo obtenido por Benjawan, Chutichudat, Boontiang, y Chanaboon (2006) quienes no encontraron diferencias significativas en el contenido de pulpa de frutos de mango cultivar Kaew bajo aplicación de PBZ con respecto al testigo. El incremento en la relación porcentual de cáscara indica un aumento en su espesor, el cual puede ser una de las causas del mejoramiento de la firmeza obtenido para frutos tratados con PBZ.



**Figura 2.** A) Dimensiones ecuatoriales y longitudinales y B) Composición morfológica de frutos de Mango cv Tommy Atkins T1: Testigo sin aplicación, T2: 2% de KNO<sub>3</sub>, T3: 4% de KNO<sub>3</sub>, T4: 25 mL de Paclobutrazol (PBZ), T5: 50 mL de PBZ; T6

No se encontraron diferencias significativas para los tratamientos de KNO<sub>3</sub> respecto al testigo para ninguna de las variables físicas y de calidad interna evaluadas, coincidiendo con lo reportado en el estudio de Oosthuysen (1997).

### CONCLUSIONES

La edad de los árboles no tuvo efecto sobre ninguno de los parámetros evaluados, así mismo, los tratamientos con nitrato de potasio no generaron efectos en la calidad de los frutos cuando fueron comparados con el testigo. Efectos contrarios fueron obtenidos para tratamientos con paclobutrazol (PBZ) los cuales generaron frutos con mayor desarrollo del color amarillo en cáscara y pulpa, la cual se relaciona con el incremento en la intensidad de respiración. Adicionalmente, favorecieron la calidad interna al incrementar significativamente la firmeza del fruto, debido posiblemente al aumento del espesor de la cáscara provocado por este tratamiento. Sin embargo, este incremento también afectó la calidad de los frutos al reducir su contenido de pulpa en comparación con el testigo y tratamientos con KNO<sub>3</sub>, característica que deberá ser tenida en cuenta para el aprovechamiento de la pulpa tanto para consumo en fresco como en procesos de transformación, que pueden tener efectos en el precio de venta. Finalmente, cuando se decida implementar el tratamiento de PBZ se recomienda considerar su efecto tanto en la calidad de los frutos como en los beneficios para el ciclo de producción, considerando los costos y beneficios que generan para cada productor.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación de Cundinamarca que a través del proyecto corredor tecnológico agroindustrial convenio derivado No. 2 y marco 396 de 2012, financió el sub-proyecto “Evaluación de tecnologías innovadoras para el manejo integral de los cultivos de mango, naranja y mandarina en zonas productoras del departamento de Cundinamarca” del cual se obtuvieron los resultados presentados en este artículo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asohofrucol, & Corpoica. (2013). Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima. Bogotá D.C.: MADR.
- Benjawan, C., Chutichudat, P., Boontiang, K., & Chanaboon, T. (2006). Effect of chemical paclobutrazol on fruit development, quality and fruit yield of Kaew (*Mangifera indica* L.) in northeast Thailand. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(4), 717–722.
- De Souza Costa, J., Figueiredo Neto, A., De Asisis Cardoso Almeida, F., De Sousa Costa, M., Da Silva Campelo Borges, G., Dos Santos Melo de Sousa, K., & Rocha Quirino, A. K. (2017). Componentes principais de parâmetros físico-químicos de mangas cv . « Tommy Atkins » durante a maturação. *Espacios*, 38(16).
- García Lozano, J. (2010). *Fenología del cultivo del mango (Mangifera indica L.) Bases conceptuales para su manipulación*. Tolima. Colombia: Corpoica.
- ICONTEC. (2003). Norma técnica colombiana: Frutas frescas: Mangos mejorados. NTC 5210. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- Lolaei, A., Mobasheri, S., Bemana, R., & Teymori, N. (2013). Role of Paclobutrazol on Vegetative and Sexual Growth of Plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(9), 1984–1987.
- Nunes, C. N., & Edmond, J. P. (2001). Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 120, 235–245.
- Oosthuysen, S. A. (1997). Effect of KNO<sub>3</sub> sprays to flowering mango trees on fruit retention, fruit size, tree yield, and fruit quality. *Acta Horticulturae*, 455, 359–366.
- Pérez-Barraza, M. H., Urias-López, M., Gómez-Jaimes, R., & Vázquez-Valdivia, V. (2011).

*Uso del Paclobutrazol para obtener floración adelantada y baja presencia de “mango niño” en el cultivar “Ataulfo.”*

- Quintero C, V., Giraldo G, G., Lucas A, J., & Vasco L, J. (2013). Caracterización físico-química del mango común (*Mangifera indica* L.) durante su proceso de maduración. *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 11(1), 1–9.
- Singh, Z., & Dhillon, B. S. (1992). Effect of paclobutrazol on floral malformation, yield and quality of mango (*Mangifera indica* L.). *Acta Horticulturae* 1, 296, 51–54.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). Plant physiology. *Sinauer Associates*, 3, 675.
- Vázquez-Luna, A., Martínez-Castellanos, G., Rivadeneyra-Domínguez, E., & Díaz-Sobac, R. (2014). Effect of Pre-Harvest Application of Paclobutrazol on Postharvest Quality of Mangofruit (*Mangifera indica* cv Manila). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3(3), 63–72. <https://doi.org/10.15640/jaes.v3n3a6>
- Wang, H., Yang, Z., Song, F., Chen, W., & Zhao, S. (2016). Effects of Heat Treatment on Changes of Respiration Rate and Enzyme Activity of Ivory Mangoes During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12737>



## **HOW SHOULD BE PERFORMED THE PRUNING PRACTICE IN *OPUNTIA ALBICARPA* (L.) SCHEINVAR VARIETY ‘CRISTALINA’?**

**¿Cómo debe ser realizada la práctica de la poda**

**en *Opuntia albicarpa* (L.) Scheinvar variedad ‘Cristalina’?**

**Fidel Blanco-Macías<sup>1</sup>, Santiago de Jesús Méndez-Gallegos<sup>2</sup>, Rafael Magallanes-  
Quintanar<sup>3</sup>, Miguel Márquez-Madrid<sup>4</sup>, Federico Villarreal-Guerrero<sup>5</sup>,**

**Marco Andrés López-Santiago<sup>6</sup>, Ricardo David Valdez-Cepeda<sup>1,5,6,7\*</sup>**

**<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte.  
Calle Cruz del Sur No. 100, Col. Constelación. Apdo. Postal 196, CP 98085, El Orito,  
Zacatecas, Zac., México. fiblama@hotmail.com**

**<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73. CP 78600.  
Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. jmendez@colpos.mx**

**<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.  
Ave. Ramón López Velarde 801, CP 98064, Zacatecas, Zac., México.  
tiquis@gmail.com**

**<sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte.  
Calle Cruz del Sur No. 100, Col. Constelación. Apdo. Postal 196, CP 98085, El Orito,  
Zacatecas, Zac., México. mamami66@hotmail.com**

**<sup>5</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología. Periférico  
Francisco R. Almada Km 1, CP 31453. Chihuahua, Chih., México.  
gvillarreal@uach.mx**

**<sup>6</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.  
Carretera Gómez Palacio-Chihuahua, Km 40, CP 35230. Bermejillo, Durango,  
México.**



**<sup>7</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas. Calzada  
Solidaridad s/n. CP 98064, Zacatecas, Zac., México. vacrida@hotmail.com**

**\*Corresponding author e-mail: vacrida@hotmail.com**

### ABSTRACT

*Opuntia* spp. is distributed around the world. It grows under a wide range of environmental conditions. This implies a great variability in fruit yield. Productivity also varies at within-tree levels due to limiting factors like fruiting cladode size. Such a variation can be reduced through horticultural practices. However, there are little evidences on that topic under technical basis. So, we used a database with variables measured on 63 fruiting 1-year-old terminal cladodes and their 532 fruits to characterize the dependence of number of fruits or fruit weight per cladode on cladode maximum length and width, as well as the relationships between fruit weight or cladode fruit yield and number of fruits per cladode for the case of *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’ using the boundary line approach. Maximum fruit weight (219-226 g) per cladode is associated to cladodes having 38.5 cm length and 22 cm width. Cladode’s size range at 95% maximum yield indicates the convenience of maintaining fruiting cladodes having 28-38 cm length and 20-26 cm width and performing fruit thinning by keeping from 7 to 14 fruits per cladode. Thus, recommended pruning practice may consists of maintaining fruiting cladodes having such a size range and detaching non-fruiting cladodes in order to maintain a balance between those types of cladodes at the plant canopy.

**Keywords:** Cladode fruit load; Cladode fruit yield; Pruning; Fruit thinning.

### RESUMEN

*Opuntia* spp. está distribuida en el mundo. Esta especie crece en un rango amplio de condiciones ambientales. Esto implica una gran variabilidad de rendimiento de fruto. La productividad también varía a nivel planta debido a factores limitantes como tamaño de los cladodios de fructificación. Dicha variación puede ser reducida mediante prácticas hortícolas. Sin embargo, pocas evidencias sobre ese tópico hay en la literatura con bases técnicas. Por lo tanto, nosotros usamos una base de datos de variables medidas en 63 cladodios terminales

de fructificación de 1 año de edad y sus 532 frutos para caracterizar la dependencia del número de frutos o el peso de los frutos por cladodio sobre longitud y ancho de los cladodios, así como las relaciones entre peso de fruto o rendimiento por cladodio y número de frutos por cladodio para el caso de *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’ mediante la técnica de curva límite. El peso máximo de fruto (219-226 g) por cladodio está asociado a cladodios con 38.5 cm de longitud y 22 cm de ancho. El rango del tamaño de los cladodios correspondiente al 95% de rendimiento máximo indica la conveniencia de mantener cladodios de fructificación con 28-38 cm de longitud y 20-26 cm de ancho y realizar el aclareo de frutos para tener cladodios con 7-14 frutos. Así, la poda recomendada puede consistir en mantener cladodios de fructificación con tales dimensiones y eliminar los cladodios que no producen frutos con el propósito de mantener un balance entre ambos tipos de cladodios en la estructura de los árboles (nopales).

Palabras clave: carga de frutos por cladodio; rendimiento de frutos por cladodio; Poda; Aclareo de frutos.

## INTRODUCTION

*Opuntia* sp. is an important crop due it is widely used in at least 18 countries for fruit production. In Mexico, this crop is developed in 67,000 ha (Riojas-López and Fuentes-Aguilar, 2006). However, the wide range of environmental conditions in which it grows implies a great variability in fruit yield and fruit ripening (Inglese et al., 2002). Yield variation can be reduced through horticultural management practices. However, there are no evidences on that topic under technical basis (e.g. Riojas-López and Fuentes-Aguilar, 2006) to improve yield and fruit quality. This is of special importance in the Central Region of Mexico for the case of *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’ due it is cropped in 6,000 ha.

*Opuntia* sp. yield and fruit quality depend on tree factors such as plant architecture, fruiting cladode position within the canopy and cladode characteristics. Nonetheless, these factors have been poorly explored (García de Cortázar and Nobel, 1992; Inglese et al., 1995). In this

work, the aims were to characterize the dependence of number of fruits or fruit weight per cladode on cladode maximum length and width, as well as the relationships between fruit weight or cladode fruit yield and number of fruits per cladode for the case of *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’ using the boundary line approach. Such knowledge could be useful to define cladode attributes for fruit yield maximization through the pruning and fruit thinning practices.

### MATERIALS AND METHODS

An *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’ orchard was established in June 2006 using twenty mother cladodes within the experimental field of the ‘Centro Regional Universitario Centro Norte’ of the ‘Universidad Autónoma Chapingo’ at 22° 44’ 49.6’’ North latitude, 102° 46’ 28.2’’ West longitude, and 2 296 masl, located near Zacatecas city, Mexico. Climate characterizing the region can be classified as BS1kw(w), which corresponds to the least dry of the dry steppe type, with an annual mean temperature ranging between 12 and 8°C and a yearly average precipitation of 472 mm. Most of the precipitation (65%) occurs from June to August.

There were 20 naturally base-shaped trees. Within the experimental plot, a density of 625 plants ha<sup>-1</sup> was used. After the orchard establishment, only weeds were removed each year in late spring and summer by low tillage. Fertilization, irrigation and other agronomic practices were not performed. It is worth to be noted that from the orchard establishment to the detaching of experimental cladodes, pruning practice on the trees was nil.

Once plants were 7-years old (August 2013), sixty-three detached fructification cladodes from 20 trees and their fruits were used to characterize the dependence of number of fruits and their weight on cladode size measured as maximum length and width. Thus cladodes having different length, width and number of fruits were involved. All fruiting cladodes were selected from the uppermost part of the plants ensuring they were 1-year-old. The basis of the selection process consisted on choosing cladodes with 1 to 18 fruits in order to involve four cladodes having each of these numbers of fruits; therefore, we considered 63 cladodes. None of those cladodes had young shoots. Especial care was applied to have one cladode

from each part of the plant (north, south, east and west) associated to each number of fruits as well as most of the fruits showed peel color breakage. So, it was possible having 4 cladodes with 1-14 fruits, 3 cladodes with 15 fruits, 2 cladodes with 16 fruits, 1 cladode with 17 fruits and one more with 18 fruits. Thus, we harvested a total of 532 fruits. All these fruits were detached and weighted. Also, all 63 detached cladodes were measured to quantify their maximum length and width.

Data of total fruit weight, fruit number, and cladode maximum length and width were recorded in a database and then used for elaboration of scatter diagrams. Their basic statistics were estimated using Microsoft Office Excel software, version 2010 (Microsoft Corporation, 2010). Later, the boundary line approach (BLA) was applied to describe the relationships between number of fruits or fruit weight and cladode length or width, and between fruit weight or cladode fruit yield and number of fruits per cladode as pointed out by Evanylo and Sumner (1987) and Evanylo (1990), and described in detail by Valdez-Cepeda et al. (2013, 2014).

## RESULTS AND DISCUSSION

The main basic statistics of fruiting cladode length and width, fruit weight, number of fruits per cladode and cladode fruit yield for *O. albicarpa* variety ‘Cristalina’ for *O. albicarpa* variety ‘Cristalina’ are shown in Table 1. Coefficients of variation were 50.54, 36.54 and 25.97% for cladode fruit yield, number of fruits per cladode and fruit weight, respectively. Variability is an important aspect to attain the objectives; so, the dataset can be used in that sense.

Table 1. Basic statistics of fruiting cladodes and fruit attributes of *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’.

Variable	Sample (n)	Minimum	Maximum	Mean	Coefficient of variation (%)
Cladode length (cm)	63 cladodes	21.0	45.5	35.87	10.76
Cladode width (cm)	63 cladodes	14.5	25.0	20.97	8.06
Number of fruits per cladode	63 cladodes	1.0	18.0	11.00	36.54
Fruit weight (g)	532 fruits	28.0	220.0	127.55	25.97
Cladode fruit yield (g)	63 cladodes	139.0	2294.0	1127.49	50.54

We were able to choose points at the upper edge of the data body to identify a maximum value of the response variable in each treated bivariate case for *O. albicarpa* variety ‘Cristalina’. In fact, estimated quadratic functions allowed us to estimate maximum values of the response variables (Table 2).

Table 2. Quadratic functions describing bivariate relationships through boundary line approach for *Opuntia albicarpa* (L.) Sheinvar variety ‘Cristalina’.

Relationship	Quadratic function	R <sup>2</sup>
Number of fruits against Cladode length	$y = -0.0621x^2 + 4.6426x - 69.218$	0.99
Number of fruits against Cladode width	$y = -0.3268x^2 + 14.34x - 139.19$	0.95
Fruit weight against Cladode length	$y = -0.4283x^2 + 29.924x - 300.04$	0.93
Fruit weight against Cladode width	$y = -0.8597x^2 + 35.7x - 161.46$	0.22
Fruit weight against Number of fruits per cladode	$y = -0.7395x^2 + 9.9821x + 173.26$	0.80
Cladode fruit yield against Number of fruits per cladode	$y = -10.632x^2 + 303.18x - 291.93$	0.91

It was strongly noted after the maximum number of fruits of almost 18 as related to 37.38 cm cladode length, the number of fruits per cladode diminished drastically. The estimated quadratic functions for number of fruits per cladode against fruiting cladode length indicates cladodes with 33 to 43 cm length correspond to 90% of the maximum number of fruits (i.e. 16 fruits). So, fruiting cladodes having lengths within this range may increase the probability of having 17-18 fruits. Then, such results imply there should be convenient no to detach fruiting 1-year-old terminal cladodes having 33 cm length.

Notably, the maximum number of fruits (18) per cladode is strongly related to cladodes having 21.94 cm width. In addition, such a quadratic relationship suggest the range from 20 cm to 24 cm width could be associated to 90% of the maximum number of fruits (16). That is why fruiting cladodes having widths within such a range may increase the probability of yielding a high number of fruits. These results imply there should be convenient not to detach fruiting 1-year-old terminal cladodes having a width  $\geq 20$  cm.

The estimated quadratic function suggests fruiting cladodes with 34.93 cm length may be able to produce the heaviest fruits (222.63 g each). It indicates range related to 90% of the maximum fruit weight (222.63 g) can be defined. Such a range for cladode length had 28 cm and 42 cm as low and high limits for the case of *O. albicarpa* variety ‘Cristalina’. Thus, it

can be convenient fruiting 1-year-old cladodes have a length of  $\geq 28$  cm.

The estimated quadratic function indicates maximum fruit weight (209.16 g) is related to fruiting cladodes with 20.76 cm width. Such a line suggests ranges related to 90% of the maximum fruit weight (222.63 g) can be defined. That range for cladode width is defined by 16 cm and 25 cm as limits. Thus, it can be convenient 1-year-old terminal fruiting cladodes having at least 16 cm width.

From a practical point of view, results allow us to hypothesize it may be recommendable not to remove, through pruning practice, fruiting 1-year-old terminal cladodes having  $\geq 28$  cm length and  $\geq 16$  cm width. Pruning practice may allow the proper balance between cladodes for fruit production and those for vegetative growth to replace terminal cladodes. Pruning might be an important issue with the aim of reducing year-to-year variability in fruit production. In the current case of study, none of the involved 63 cladodes had young shoots, so undoubtedly competition between fruits and vegetative growth for assimilates was nil. It deserves be mentioned that due 2013 was the first year they produced fruits. Then, such a circumstance may be not the same in the next years, and pruning to replace old terminal fruiting cladodes will be a need. There is known that a strong competition between fruits and new cladodes for assimilates can occur. Then, pruning to promote the terminal fruiting to non-fruiting cladodes proper balance is an important issue. As a matter of fact, information on such a balance is scarce having in mind trees should be trained through pruning at yearly and long-term levels to improve their fruiting potential.

Data distribution using fruit weight versus number of fruits per cladode suggests there could be an optimum cladode load as estimated through a quadratic function as an enveloping curve. This optimum was of 7 fruits per cladode. As a possible consequence, cladodes having such fruiting load could be yielding fruits with weights of 209 g. This result may be useful to increase fruit weight practicing fruit thinning. Thinning must be carried out mainly during the most appropriate time, i.e. 10 to 20 days after bloom when differences in fruit size are clear enough to remove the smallest fruits and flesh development is still negligible (Barbera et al., 1992).

Our data strongly suggest fruit weight may be maximized if the number of fruits per cladode is seven. In fact, cladode fruit yield appears to diminish when its load is of 14 fruits or more as estimated taking into account the maximum cladode fruit yield for each number of fruits per cladode ( $n=18$ ) to calculate a quadratic equation. The associated maximum cladode fruit yield corresponds to 1869 g. Thus, it is also advisable to perform fruit thinning by keeping cladode loads from 7 to 14 fruits.

By this way, taking into account 29 fruiting cladodes per plant, the estimated maximum cladode fruit yield of 1869 g, cladode loads from 7 to 14 fruits and 625 trees per hectare, it is expected having a fruit yield of 33.87 t·ha<sup>-1</sup>. This value is much higher than the *Opuntia* sp. mean yield range from 7 to 15.4 t·ha<sup>-1</sup>, at national level, reported by Zegbe and Mena-Covarrubias (2008).

### CONCLUSIONS

Cladode's size range at 95% maximum yield indicates the convenience of maintaining fruiting cladodes having 28-38 cm length and 20-26 cm width and performing fruit thinning by keeping from 7 to 14 fruits per cladode. Thus, recommended pruning practice may consists of maintaining fruiting cladodes having such a size range and detaching non-fruiting cladodes in order to maintain a balance between those types of cladodes at the plant canopy.

### ACKNOWLEDGEMENTS

All authors thank the partial financial support from 'Instituto de Horticultura' of the Universidad Autónoma Chapingo.

### REFERENCES

- Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. and Panno, M. 1992. *Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. The J. of Hort. Sci. and Biotech. 67: 307-312.
- Evanylo, G.K. and Sumner, M.E. 1987. *Utilization of the boundary line approach in the*



- development of soil nutrient norms for soybean production. Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18: 1379-1401.
- Evanylo, G.K. 1990. *Soil and plant calibration for cucumbers grown in the mid-Atlantic coastal plain. Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 251-272.
- García de Cortázar, V. and Nobel, P.S. 1992. *Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, Opuntia ficus-indica. J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117 (4): 558-562.
- Inglese, P., Barbera, G., La Mantia, T. and Portolano, S. 1995. *Crop production, growth, and ultimate size of cactus pear fruit following fruit thinning. HortScience* 30(2): 227-230.
- Inglese, P., Basile, F. and Schirra, M. 2002. *Cactus pear fruit production. In: Nobel, P.S. (Ed.), Cacti: Biology and Uses. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, CA, USA, pp. 163-183.*
- Microsoft Corporation. 2010. *Microsoft Office Excel Software. Redmond, Washington, USA.*
- Riojas-López, M.E. and Fuentes-Aguilar, A.T. 2006. *Caracterización del manejo del cultivo de tuna (Opuntia spp.) en los municipios de Ojuelos, Jalisco y Pinos, Zacatecas, México. In: Avances en la Investigación Científica en el Centro de Ciencias Biológicas Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 595-601.*
- Valdez-Cepeda, R.D., Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintana, R., Vázquez-Alvarado, R. and Méndez-Gallegos, S.J. 2013. *Fruit weight and number of fruits per cladode depend on fruiting cladode fresh and dry weight in Opuntia ficus-indica L. variety 'Rojo Pelón'. Scientia Horticulturae* 161: 165-169.
- Valdez-Cepeda, R.D., Méndez-Gallegos, S.J., Magallanes-Quintana, R., Ojeda-Barrios, D.L. and Blanco-Macías, F. 2014. *Fruit yield per cladode depends on its physical attributes in Opuntia ficus-indica (L.) Miller variety 'Rojo Pelón'. Revista Chapingo, Serie Horticultura XX(2): 131-146.*

Zegbe, J.A. and Mena-Covarrubias, J. 2008. *Retraso de la cosecha en nopal tunero cv. Cristalina*. Revista Chapingo, Serie Horticultura 14(1): 85-90.

## DESEMPEÑO DIFERENCIAL DEL TIPO DE BOQUILLA A LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN Y LA REDUCCIÓN DE LA DERIVA

### NOZZLE TYPE DIFFERENTIAL RESPONSE TO APPLICATION EFFICIENCY AND SPRAY DRIFT REDUCTION

**Mariano J. PONCE<sup>1</sup>, Matilde MUR<sup>1</sup>, Federico RAMIREZ<sup>2</sup>, Matías RODRIGUEZ VASALLO<sup>2</sup>, Facundo D. GUILINO<sup>1</sup>, Víctor H. MERANI<sup>1</sup>, Telmo C. PALANCAR<sup>1</sup>, Roberto H. BALBUENA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ing. Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Cs. Agrarias y Ftiles., Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Tel: 00-54-221-4236758 int. 545, [matilde\\_mur@hotmail.com](mailto:matilde_mur@hotmail.com)

<sup>2</sup>Estudiante, Facultad de Cs. Agrarias y Ftiles., Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

#### RESUMEN

El número de aplicaciones de herbicidas aumenta cada año. La reducción de la deriva y la maximización de la eficacia se han convertido en un aspecto importante del control de malezas. Se realizó un ensayo a campo para evaluar el riesgo potencial de deriva y la eficiencia de aplicación de 3 boquillas, abanico plano HyproAI11015, Cono hueco TeejetAITXA80015 y Cono hueco TeejetTXA80015, a dos distancias, 0,35 m y 0,70 m (5 ms<sup>-1</sup> y 2,5 ms<sup>-1</sup> de velocidad de avance). Se determinó densidad de gotas, diámetro volumétrico medio y cobertura en papel hidrosensible y se calculó la tasa de recuperación mediante el software CIR1.5®. Los datos se sometieron a ANOVA y las medias se compararon mediante prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). El cono hueco alcanzo una densidad de gotas significativamente más alta que el cono hueco con inducción de aire y el abanico plano con inducción de aire se ubicó entre medio. El diámetro volumétrico medio en el cono hueco fue significativamente menor que el cono hueco de inducción de aire, pero la eficiencia no presenta diferencias, siendo 63%, 56,7% y 42,7% para Abanico plano con inducción de aire, cono hueco y cono hueco con inducción de aire respectivamente. La cobertura vario entre 5% y 11% siendo la más baja con el cono hueco de inducción con aire. Una mayor separación entre boquillas produjo menor tasa de recuperación, con diferencias cercanas al 8%. Todos

los tratamientos alcanzaron los valores recomendados de densidad de gotas, pero con diferentes eficiencias en la deriva.

Palabras clave: gotas, deriva, abanico plano, cono hueco

### ABSTRACT

The number of herbicide applications is increasing each year. Reducing pesticide spray drift and maximizing efficacy has become an important aspect of chemical weed control around the world, to reduce environmental pollution. Field trials were carried out to evaluate nozzle design, Flat fan Hypro GA11015, Teejet Conejet AITXA 80015 and Teejet Conejet TXA 80015 Hollow cone at two different distances, 0,35 m y 0,70 m ( $5 \text{ m s}^{-1}$  and  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  forward speed) on drift potential risk and efficiency application. Droplets density, volume median diameter, coverage on water-sensitive paper was determined and recovery volume rate was calculated by CIR 1.5<sup>®</sup> software. Data were subjected to ANOVA and means were compared by Tukey test ( $p \leq 0,05$ ). Hollow Cone reach significantly higher droplet density than Air induction hollow cone and Air induction flat fan was in the middle between them. Hollow cone volume median diameter was significantly lower than Air induction hollow cone, but nozzle efficiency does not differ, being 63 %, 56,7 % and 42,7 % for Air induction flat fan, Hollow cone and Air induction Hollow Cone respectively. Coverage values ranged among 5% to 11%. The lowest coverage was obtained by air induction hollow cone, with significance respect to air induction flat fan and hollow cone. Greater separation between nozzles produced lower volume recovery rate, with differences near 8 %. All treatment and sub-treatment reach the recommendation for droplet density but had a lower efficiency in spray drift.

**Keywords:** Drops, drift spray, flat fan, hollow cone

### INTRODUCTION

The number of herbicide applications is increasing each year. Reducing pesticide spray drift and maximizing efficacy has become an important aspect of chemical weed control around the world, to reduce environmental pollution. Spray drift is defined as that portion of the applied product which is moved out of the target area by the action of climatic conditions during and as a consequence of the application process (Nuyttens, 2007). Van den Berg et

al., (1999) demonstrated that during application, 30 up to 50% of the amount applied can be lost to the air. Droplet size is one of the most influential factors related to drift (Carlsen et al. 2006), many researchers have considered droplets smaller than 150  $\mu\text{m}$  (Combella et al. 1996) or 200  $\mu\text{m}$  (Bouse et al. 1990) to be the most drift prone.

Air inclusion nozzles contain a venturi insert. This venturi induces air through two holes at the side of the nozzle and results in a very coarse spray, and then reduces drift according to Balsari et al. (2017), Miller (1999), Murphy et al. (2000) and Nuyttens et al. (2009). In relation to it, Heinkel et al. (2000), Leskik et al. (2012), Doruchowski et al. (2016) and Shaw et al. (2000) concluded that coarse droplet applications do not have a detrimental impact on biological efficacy. The principal factors which have an impact on efficacy are choice of product, timing and weather conditions. The risk of coarse spray is the bounce off on leaves and soil fall (Nuyttens, 2007) and not achieving the necessary coverage to cause biological efficacy (Weber, 1982). A small droplet tends to follow the path of air that surrounds it, whereas a larger droplet has sufficient momentum to deviate from this air and impact upon the target (PISC, 2002).

Van de Zande et al. (2005) also measured an increase in spray drift from 77% when driving speed increased from 6 to 12  $\text{km h}^{-1}$  using conventional XR 11004 nozzles and 60% with DG 11004 nozzle. Tsay et al. (2002) concluded that local relative velocity, which is a combination of wind velocity and sprayer travel speed, plays an important role in controlling the drift potential of a moving sprayer. The higher local relative velocity, greater drift potential.

Murphy et al. (2000) compared a range of six distances between nozzles from 0.125 m to 0.750 m. Maximum airborne drift occurred at a nozzle spacing of 0.5 m with all spray qualities.

However, in recent years in Argentina the use of techniques with reduced volumes of application and use of hollow cone nozzle for the application of systemic herbicides has spread, trying to increase the operative capacity. The aim of the trial was to evaluate the performance of different spray application techniques for efficiency application and drift mitigation in field conditions.

## MATERIALS AND METHODS

Field trials were conducted at Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. The treatments were arranged in factorial design 3x2 with eight repetitions. The first factor consisted of three nozzles designs: Hypro GA11015 (AI), Teejet Conejet AITXA 80015 (CI) and Teejet Conejet TXA 80015 Hollow cone (CH) and the second factor was two different distances between nozzle, 0.35 m (A) y 0.70 m (B) ( $5 \text{ m s}^{-1}$  and  $2.5 \text{ m s}^{-1}$  forward speed). The resulting spray volume rate was  $57 \text{ L ha}^{-1}$ . The working pressure was 300 kPa for all treatments and the boom height 0.75 m. Temperature, relative humidity and wind velocity were measured at height 2 m above ground. The landscape around the field was open without any upwind obstacles (trees or buildings) disturbing the dispersion pattern of the applied solution above and around the treated field. The spraying was carried out with crosswind. Above ground with water sensitive paper under boom Application Efficiency (AE) was evaluated. Airborne Spray Drift (AD) was measured at a distance of 5 m, 25 m and 50 m on towers at 2 m height from the last nozzle (Arvidsson et al. 2011). Droplets density (DD), volume median diameter (VMD), coverage (C) on water-sensitive paper was determined and recovery volume rate (RV) was calculated by CIR 1.5<sup>®</sup> software. Data were subjected to ANOVA and means were compared by Tukey test ( $p < 0,05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

### *Meteorological conditions during field trials*

The average wind velocity was  $3.5 - 4 \text{ m s}^{-1}$ , with a maximum of  $5 \text{ m s}^{-1}$ . The average temperature during the trials was  $28^\circ\text{C}$ , with a maximum of  $30^\circ\text{C}$  and minimum of  $26^\circ\text{C}$ . The relative humidity was 64–68%.

### *Application Efficiency*

Data of DD are presented in figure 1. CHB reach significantly higher droplet density than CIB and AI was in the middle between them. The distance between nozzles did not have significant effects in each treatment. All treatments overcome recommendation that systemic herbicide (Weber, 1982). As expected, the treatments with the greatest DD corresponds with a smaller VMD (figure 2) and reciprocally. In air inclusion nozzles, the drift potential was lower, according to Balsari et al. (2017), Miller (1999), Murphy et al. (2000) and Nuyttens

et al. (2009). CH VMD was significantly lower than CI. CH droplet size was near to 200  $\mu\text{m}$ , with drift prone (Bouse et al. 1990).

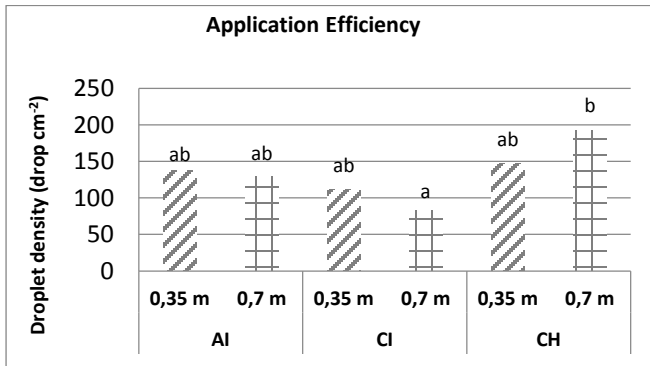


Fig 1. Droplet cm<sup>-2</sup>. AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015.

CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles.

Means with the same letters do not differ significantly.

Tukey test ( $P < 0.05$ ).

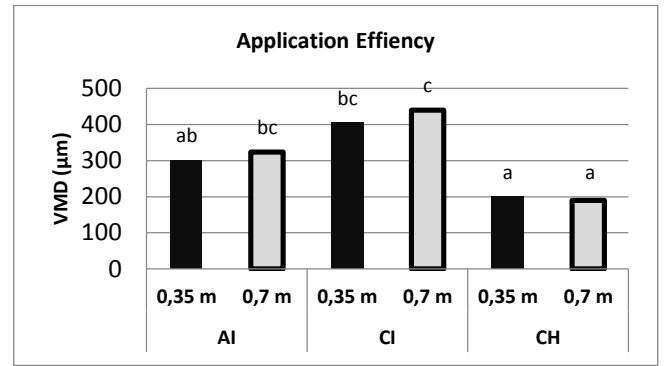


Fig 2. VMD: Volumen Median Diameter (µm). AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015. CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles.

Means with the same letters do not differ significantly.

Tukey test ( $P < 0.05$ ).

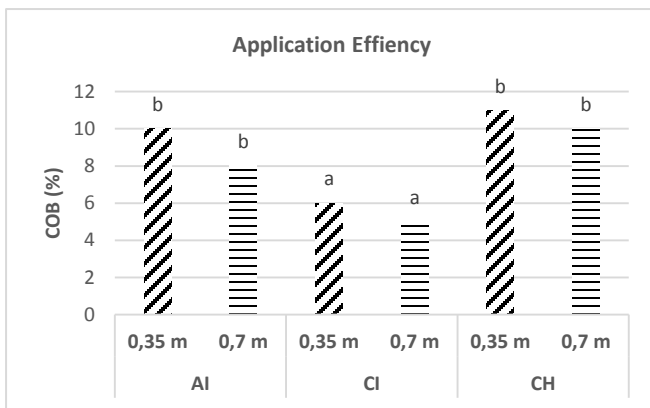


Fig 3. COB (%). AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015.

CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles.

Means with the same letters do not differ significantly. Tukey test ( $P < 0.05$ ).

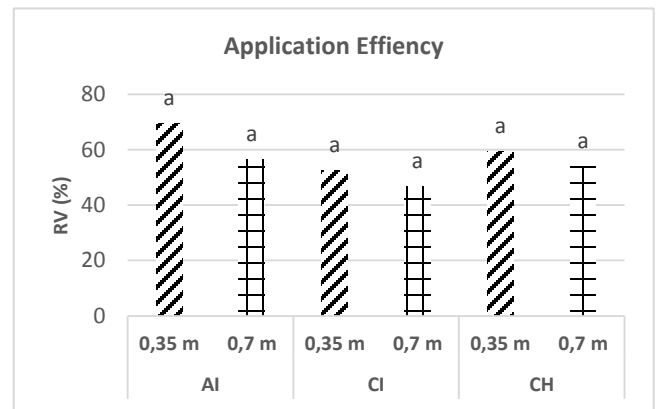


Fig 4. RV (%). AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015.

CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles.

Means with the same letters do not differ significantly. Tukey test ( $P < 0.05$ ).



The lowest COB (Fig. 3) was obtained by CI, with significance respect to AI and CH. COB depends more on DD than VMD. This means greater VMD, smaller COB.

Anyway, COB values ranged among 5% to 11%. Also, it is interesting to note that B always obtained lower values than A (Fig. 3).

Figure 4 shows the RV results obtained for the nozzles at the two examined boom distances. RV does not differ, being 63 %, 56,7 % and 42,7 % for AI, CH and CI respectively, also coinciding with the results obtained by Van den Berg et al., (1999). RV CH was an unexpected result. In general, RV were low.

*Airborne Spray Drift*

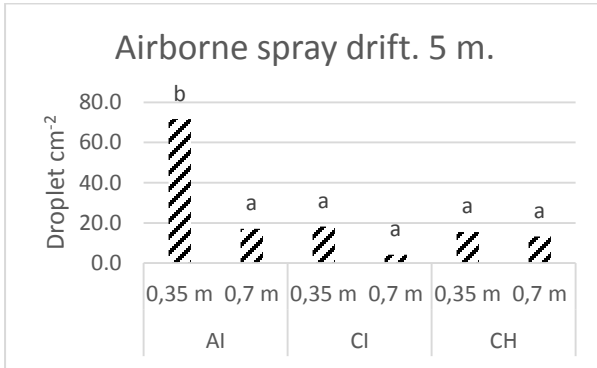


Fig 5. Droplet cm<sup>2</sup>. AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015.

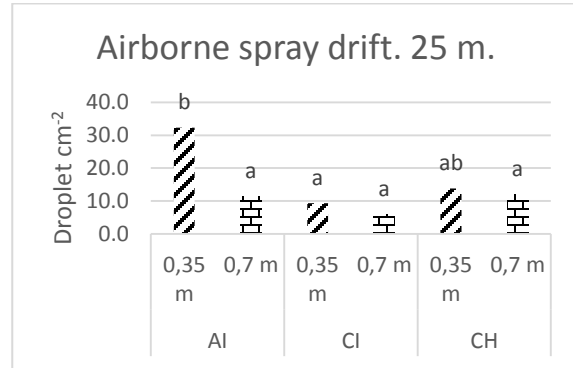


Fig 6. Droplet cm<sup>2</sup>. AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015.

CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles. Means with the same letters do not differ significantly.

CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles. Means with the same letters do not differ significantly.

Tukey test (P<0.05).

Tukey test (P<0.05).

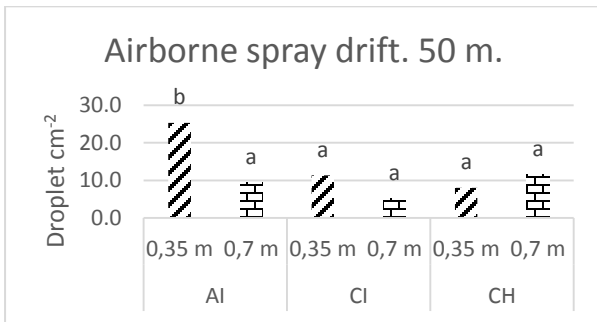


Fig 7. Droplet cm<sup>2</sup>. AI: Hipro GA110015. CI: Teejet AITX 80015.

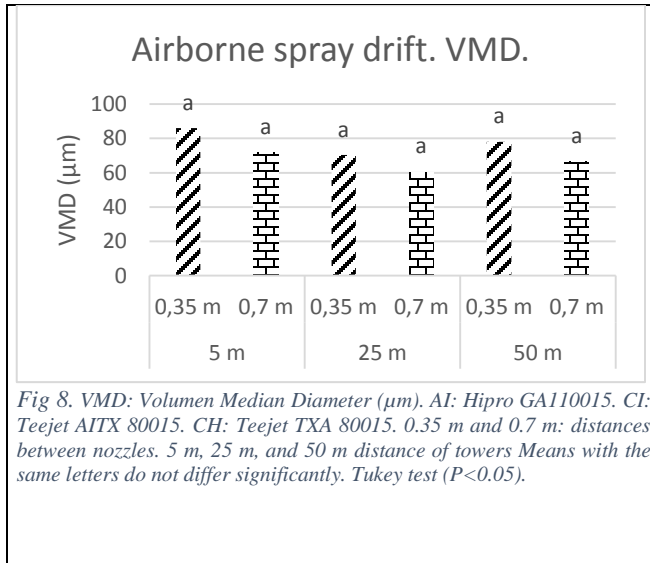
CH: Teejet TXA 80015. 0.35 m and 0.7 m: distances between nozzles. Means with the same letters do not differ significantly.

Tukey test (P<0.05).

Figure 5, 6 y 7 shows AD for the nozzles at the two examined boom distance. AIA was statistically significant respect all treatments, except CHA at 25 m. This may be due to a large drop with enough wind speed can reach longer distances without evaporating. Further, at 5 m DD was close to cause biological efficacy (Weber, 1982).

CIB was the combination that achieved the lowest DD (Balsari et al. 2017). CH obtained low DD values because many drops evaporated during the path from the nozzle to the water-

sensitive paper. CI obtained the lowest DD values because had VMD greater values (Fig. 2) coinciding with Miller (1999), Murphy et al. (2000) and Nuyttens et al. (2009).



VMD no significant differences among nozzle types and distances in the boom were found (Fig. 8). These results show that the drops drift independently of the nozzle type, have a size smaller than 100 µm, in coincidence with conclusions of Combella et al. (1996) and Bouse et al. (1990).

Always B (0,7 m at 2,5 m s<sup>-1</sup>) obtain lowest values of VMD, which indicates that the speed had influence on the AD.

## CONCLUSIONS

All treatment and sub-treatment reach the recommendation for droplet density but had a lower efficiency in spray drift. Under certain environmental conditions nozzles with air induction may have a high drift potential.

## REFERENCES

- Arvidsson, T, Bergström, L, & Kreuger, J. (2011). Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. *Pest management science*, 67(5), 586-598.
- Balsari, P, Gil, E, Marucco, P, van de Zande, J C, Nuyttens, D, Herbst, A & Gallart, M. (2017). Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type. *Biosystems Engineering*, 154, 3-13.

- Bouse L F, Kirk I W, Bode L E. (1990). Effect of spray mixture on droplet size. Transactions of the ASAE. 33(3): 783-788.
- Carlsen S C K, Spliid N H, Svensmark B. (2006). Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). Chemosphere. (64): 778-786.
- Combella J H, Western N M, Richardson R G. (1996). A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. Crop Protection. 15( 2): 147-152.
- Heinkel R, Fried A, Lange E. (2000). The effect of air injector nozzles on crop penetration and biological performance of fruit sprayers. Aspects of Applied Biology. 57: 301-307
- Lešnik M, Kramberger B, Vajs S. (2012). The effects of drift-reducing nozzles on herbicide efficacy and maize (*Zea mays* L.) yield. Žemdirbystė=Agriculture, vol. 99 (4), pp. 371–378.
- Miller P C H. 1999. Factors influencing the risk of drift into field boundaries. Proceedings The British Crop Protection Council Conference - Weeds. 439-446.
- Nuyttens, D. (2007). Drift from field crop sprayers: the influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means. PhD thesis no. 772, Katholieke Universiteit Leuven, ISBN: 978-90-8826-039-1. 293 pp.
- Nuyttens, D., Taylor, W. A., De Schampheleire, M., Verboven, P., & Dekeyser, D. (2009). Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods. Biosystems Engineering, 103(3), 271-280.
- Shaw, D. R., Morris, W. H., Webster, E. P., & Smith, D. B. (2000). Effects of spray volume and droplet size on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. Weed Technology, 14(2), 321-326.
- PISC. 2002. Spray drift management. Principles, strategies and supporting information. Primary Industries Standing Committee. PISC (SCARM) Report 82.
- Van den Berg F, Kubiak R, Benjey W G. (1999). Emission of pesticides into the air. Water, Air, and Soil Pollution. (115): 195-218.
- van de Zande J C, Stallinga H, Michielsen J M G P, van Velde P. (2005). Effect of sprayer speed on spray drift. Annual Review of Agricultural Engineering. 4(1): 129-142.

Weber, R. (1982). La quatrième session du panel FAO sur la mécanisation agricole : matériels et méthodes pour l'application de pesticides pour la préparation des sols et la protection des cultures. *Machinisme Agricole Tropical* (77): 54-63.

## **EXTRACCIÓN E INMOVILIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE FLOR DE JAMAICA PARA SU APLICACIÓN COMO RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRESA (*FRAGARIA ANANASSA*)**

**<sup>a</sup> Daniela Padró Nombret, <sup>a</sup> Ma. Del Rosario Abraham Juárez, <sup>b</sup> Leticia Pérez  
Becerra, <sup>c</sup> Alberto Saldaña Robles, <sup>a</sup> María Elena Sosa Morales y <sup>ad</sup> Everardo Mares  
Mares**

**<sup>a</sup> Departamento de Alimentos, <sup>b</sup> Departamento de Agronomía, <sup>c</sup> Departamento de  
Ingeniería Agrícola. División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca,  
Universidad de Guanajuato. Carr. Irapuato-Silao km 9. Ex-Hacienda El Copal. CP.  
36000. Irapuato, Guanajuato. México Tel: (+52) 01 462-624 1889 Ext 1870. <sup>d</sup>  
Ingeniería en Industrias. Alimentarias, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato.  
Carr. Guanajuato-Puentecillas km 10.5 Predio El Carmen Tels. 01 (473) 734 7878.  
Email: [e.maresmares@ugto.mx](mailto:e.maresmares@ugto.mx)**

### **RESUMEN.**

El uso de compuestos naturales con propiedades bioactivas en empaques o recubrimientos, aumenta la vida útil de alimentos, protegiéndolos de la contaminación microbiana y manteniendo la calidad de los mismos. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de los recubrimientos comestibles en fresa (*Fragaria ananassa*) a base de quitosano y alginato de sodio con la extracción e inmovilización de compuestos bioactivos de la flor de jamaica. Para ello, se extrajeron los compuestos fenólicos (CF) con acetona, etanol y metanol para luego ser deshidratados mediante secado por aspersión a 80, 100 y 120°C y se cuantificaron por el método de Folin Ciocalteu. Con los polvos obtenidos, se formularon recubrimientos a base de quitosano (1%) y alginato de sodio (1%) a concentraciones del 0.1, 0.5 y 1% (p/v). Los recubrimientos formulados se aplicaron en fresa por inmersión y se dejaron en almacenamiento de refrigeración a 4°C durante 15 días. Se evaluaron los parámetros de firmeza (Perfil de textura), color (CIELAB) y microbiológicos (mesófilos

aerobios y hongos-levaduras). De acuerdo con los resultados, los CF presentaron termoestabilidad durante el secado hasta los 120°C cuando se extrajeron con etanol. La fórmula de quitosano al 1% y 0.1% de CF permitió conservar las características de color y firmeza con respecto al control a los 15 días de almacenamiento. Así mismo, los recubrimientos mostraron una actividad fungicida y bactericida. En conclusión, los recubrimientos comestibles base de quitosano con CF de la jamaica se pueden considerar una excelente alternativa para la conservación de alimentos altamente perecederos.

## INTRODUCCIÓN

El uso de recubrimientos comestibles es una tecnología que está ganando importancia para prolongar la vida útil de frutas frescas y mínimamente procesadas, debido a que actúan como una barrera contra la humedad. La pérdida de humedad en frutas, disminuye su firmeza y su peso provocando cambios en el sabor y la apariencia. Además presentan permeabilidad a gases, en fruta almacenada disminuye su respiración, evita pérdida de compuestos volátiles y retarda la oxidación enzimática. Éstos reducen la abrasión durante la manipulación de la fruta y son portadores de ingredientes funcionales con potencial antimicrobiano y antioxidante (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013). Los compuestos más comúnmente usados para formar los recubrimientos comestibles incluyen quitosano, almidón, celulosa, alginato, carragenano, zeína, gluten, suero de leche, carnauba, cera de abejas y ácidos grasos. En la mayoría de los casos, aditivos como antimicrobianos, antioxidantes y nutrientes se añaden a la formulación del revestimiento para ayudar a preservar la calidad de los productos recién cortados (Olivas y Barbosa-Canovas 2005; Ayala-Zavala *et al.*, 2008b). Recientemente, las nuevas tecnologías aplicadas en la industria alimentaria implican el uso de compuestos naturales con propiedades bioactivas. En este contexto, varios proyectos de investigación han afirmado que los fitoquímicos podrían mejorar o prolongar la vida útil de los productos (Schieber *et al.*, 2001; Wijngaard *et al.*, 2009 y 2012). Actualmente las investigaciones se han centrado en los compuestos fenólicos de la flor de jamaica por su potencial antioxidante, antimicrobiana, antihipertensiva, inhibición de la agregación plaquetaria, anti-cancerígeno sin embargo estos compuestos aún no se han aplicado en el rubro de revestimientos para la prolongación de la vida de anaquel

de productos alimenticios (Marquez, De la Rosa *et al.*, 2007; Gradinaru *et al.*, 2003). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de los recubrimientos comestibles a base de quitosano y sal de sodio del ácido alginico con la extracción e inmovilización de compuestos bioactivos de la flor de jamaica en la retención de la calidad y reducción de la población microbiana en alimentos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Obtención y cuantificación de compuestos fenólicos (CF) de la flor de Jamaica.** - La flor de jamaica fresca se deshidrato por calentamiento directo en un horno por 24 horas, después se molió en un molino RESTCH con una malla de 100 (0.150 mm). Para la extracción de CF, la muestra seca se llevó a una relación de 1:10 (g:mL) con tres diferentes solventes por separado (Etanol 70%, Metanol 80% y Acetona 80%). Finalmente se cuantificaron los compuestos fenólicos en los extractos empleando el método de Folin Ciocalteu, descrito por Singleton *et al.* (1999). Para ello, se realizó una curva patrón de ácido gálico (1-150 µg/mL) (Restrepo-Sánchez, D., Narváez-Cuenca, C., Restrepo-Sánchez, L. (2009). Todas las muestras se manejaron por triplicado y los resultados se expresaron como g equivalentes de ácido gálico/g de muestra seca.

**Secado por aspersión de los compuestos bioactivos.** Los extractos de CF, se sometieron a secado por aspersión en un equipo mini-spray Büchi-290 (tobera de 150µm) a 80, 100 y 120°C. Para evaluar la efectividad del secado, se evaluó el rendimiento del polvo obtenido (expresado como mg/ 100mL de extracto). Los polvos obtenidos se reconstituyeron a una concentración de 1g/mL y se procedió a la cuantificación de CF para evaluar la afectación de la temperatura de secado.

**Formulación de recubrimientos comestibles.** Se prepararon diez formulaciones variando la concentración de quitosano (Q) en ácido acético al 2%, sal de sodio del ácido alginico (A) en agua y compuestos fenólicos deshidratados (CF), donde: T1 = 1%(Q) + 0.1%(CF), T2 = 1%(Q) + 0.5%(CF), T3 = 1%(Q) + 1%(CF), T4 = 1%(A) + 0.1%(CF), T5 = 1%(A) + 0.5%(CF), T6 = 1%(A) + 1%(CF), T7 = 0.5%(A) + 0.1(Q) + 0.5%(CF), T8 = 0.5%(A) + 0.5(Q) + 0.5%(CF), T9 = 0.5%(A) + 1%(Q) + 1%(CF), T10= Control (Solo fresa).



**Aplicación de los recubrimientos comestibles en alimentos.** Se utilizó fresa variedad camino real como material de prueba, a las cuales se les aplicaron los recubrimientos por inmersión durante 10 segundos, y se les aplicó un ligero flujo de aire caliente para eliminar el exceso de los recubrimientos comestibles. Se envasaron lotes de 200g de fresas en cajas de polietileno y se almacenaron a 5°C durante 15 días. En una primera etapa experimental, se realizó un screening de la efectividad de los tratamientos, con la finalidad de reducir y seleccionar las formulaciones de los recubrimientos más efectivas.

**Determinaciones:** En la segunda etapa experimental, a las fresas almacenadas durante 15 días a 4°C y a diferentes intervalos de tiempo se les realizaron las siguientes determinaciones:

**a) Color:** Se evaluaron los parámetros el color L\*, a\* y b\* empleando un espectrofotocolorímetro de reflectancia Minolta CM508-d. **b) Firmeza.** Se utilizó un analizador de textura TA-XT2 para la evaluación de firmeza expresada en Newtons (N). Se utilizó una probeta de 20 mm de diámetro y una velocidad de cabezal de 10 mm/s, penetrando 2 veces a una distancia de 10mm a partir de la superficie de la fresa, durante un intervalo de tiempo de 10 segundos y **c) Evaluaciones Microbiológicas.** Hongos y levaduras de acuerdo a la NOM 111-SSA1-1994 y Recuento total de mesófilos aerobios con la técnica descrita por la NOM-092-SSA1-1994. Los resultados se expresaron como UFC/g. Todas las muestras se manejaron por triplicado.

**Análisis Estadístico.** Todos los datos se reportan como la media  $\pm$  desviación. Para conocer la diferencia en la variación del efecto de los tratamientos (tipo de solvente de extracción de CF, temperatura de secado, etc.) se realizó un análisis de varianza con un 95% de confiabilidad y una prueba de comparación múltiple de medias utilizando la prueba de Tukey ( $\alpha= 0,05$ ). Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados, el contenido de compuestos fenólicos utilizando etanol al 70%, metanol al 80% y acetona al 80% fue de  $3956\pm 200$ ,  $3583\pm 135$ , y  $3024\pm 344$  mg de Ácido Galico/100 g de flor de jamaica seca respectivamente. El valor obtenido con metanol, es similar al reportado por Abou-Arab *et al.*, (2011). Cuando los extractos se deshidrataron, los compuestos fenólicos (polvo) que se extrajeron con etanol y metanol presentaron el mismo

**Tabla 1. Rendimiento de compuestos fenólicos deshidratados (mg/100mL de extracto)**

Temperatura de secado (°C)	Etanol	Acetona	Metanol
80	656.71 <sup>a/a</sup>	505.57 <sup>b/a</sup>	499.28 <sup>b/a</sup>
100	651.76 <sup>a/a</sup>	670.28 <sup>a/b</sup>	540.42 <sup>b/a</sup>
120	774.85 <sup>a/b</sup>	546.00 <sup>b/a</sup>	786.71 <sup>a/b</sup>

Los superíndices numeradores indican diferencia entre el tipo de solvente de extracción y los superíndices denominadores diferencia entre temperatura de secado. Prueba de Tukey ( $p < 0,05$ )

(1mg/mL) y se cuantificaron. De acuerdo a la **Tabla 2** y al análisis estadístico (Prueba de Tukey ( $p < 0.05$ )), la temperatura y el tipo de solvente, no presentaron un efecto significativo en el contenido de compuestos fenólicos expresados en mg de Acido Gálico/ g de muestra seca (extracto en polvo). Por lo anterior y de acuerdo al rendimiento, los extractos a utilizar en los recubrimientos son los obtenidos con etanol al 70°C y deshidratados a 120°C.

**Tabla 2. Contenido de compuestos fenólicos deshidratados (mg equivalentes de ácido gálico/g de muestra seca)**

Temperatura de secado (°C)	Etanol	Acetona	Metanol
80	822.04±19.54 <sup>a/a</sup>	797.03±19.90 <sup>a/a</sup>	865.44±34.64 <sup>a/a</sup>
100	912.25±19.20 <sup>a/a</sup>	771.24±10.20 <sup>a/a</sup>	747.46±52.57 <sup>a/a</sup>

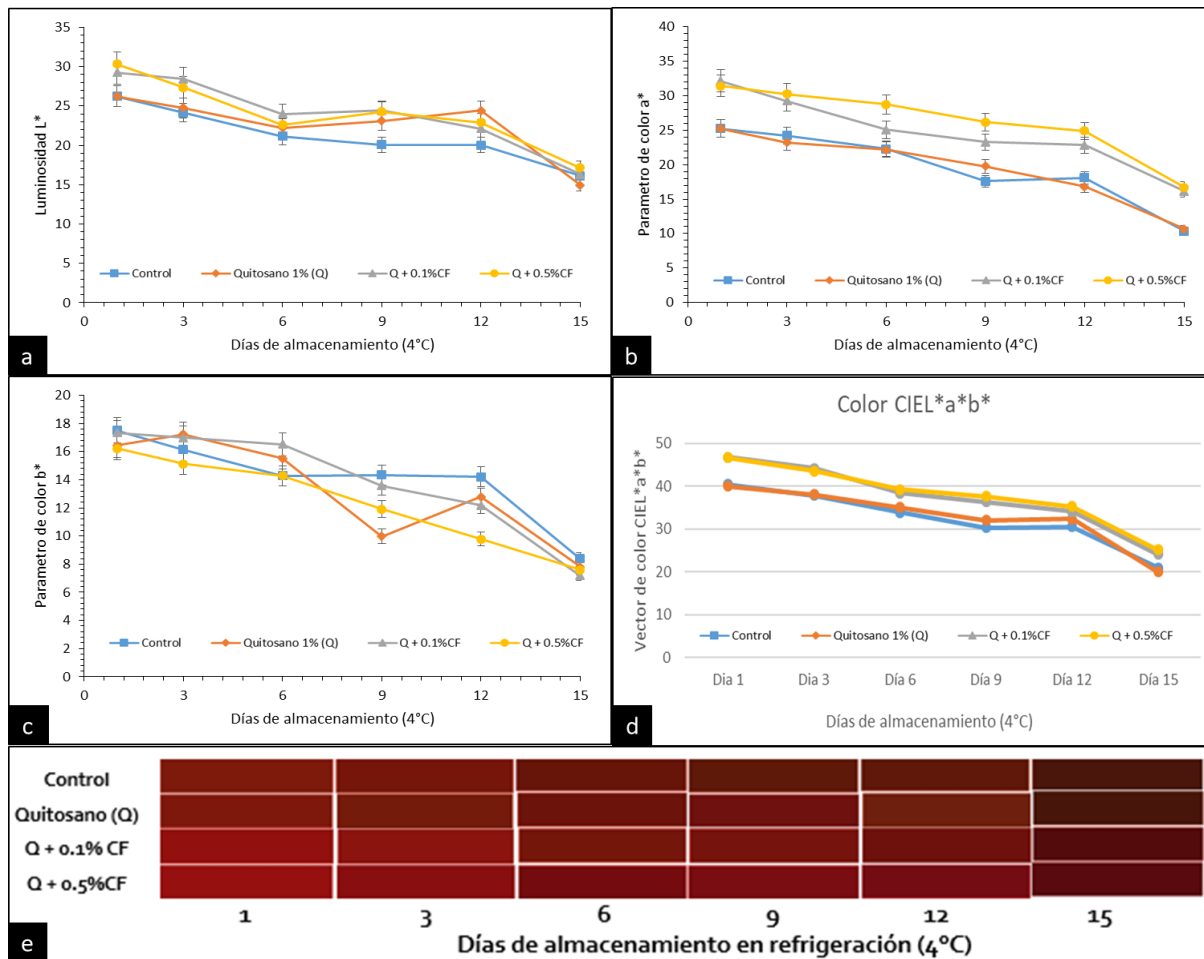


**Figura 1. Recubrimientos comestibles a base de quitosano y sal de sodio de ácido algínico con compuestos fenólicos**

rendimiento con respecto a acetona de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), sin embargo se observó un mayor rendimiento cuando los extractos se deshidrataron a 120°C (**Tabla 1**). Para evaluar la afectación de la temperatura en el contenido de compuestos fenólicos, se rehidrataron en agua los polvos

En la primera parte de la investigación se observó, que los recubrimientos a base de quitosano (T1, T2, y T3) presentaron una mayor efectividad en comparación con los formulados con la sal de sodio del ácido algínico y en mezcla (**Figura 1**). Lo anterior, con base a la observación del crecimiento de hongos filamentosos y el control (sin recubrimiento). En un estudio similar presentado por Velázquez-Moreira, y Guerrero-Beltrán, (2014) determinaron que la concentración de quitosano efectiva en recubrimientos

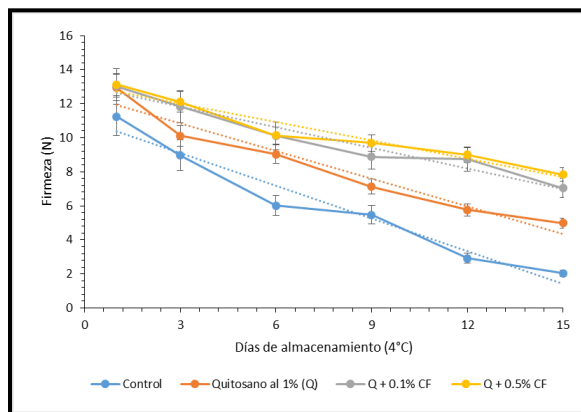
comestibles para una actividad antifúngica es de 0.1 al 0.5%, lo anterior es similar a lo obtenido en la presente investigación. Por lo tanto, se redujo el diseño experimental se redujo a los tratamientos T1 (1%(Q) + 0.1%(CF)) y T2 (1%(Q) + 0.5%(CF)), con los respectivos controles (Quitosano al 1% y sin recubrimiento).



**Figura 2. Evaluación de color de las fresas con recubrimientos comestibles a base de quitosano y compuestos fenólicos de la flor de jamaica. Dónde: a) L\*, b) a\*, c) b\*, d) Vector de color y e) Escala de color NIX del vector resultante.**

Para cada una de las determinaciones, se observó que el tratamiento 2 (1%(Q) + 0.5%(CF)), fue el más efectivo. En la **Figura 2** se puede generalizar el efecto de los compuestos fenólicos (CF) a una concentración del 0.5%. Las cinéticas de deterioro para los parámetros L\* (**Figura 2a**) y a\* (**Figura 2b**), muestran que no hay diferencia significativa en los días de

almacenamiento cuando se utiliza una concentración de 0.1 o 0.5% de CF. El vector de color (**Figura 2d**) se representó con la herramienta colorimétrica NIX (<https://nixsensor.com/free-color-converter/>) para observar el efecto conservador y antioxidante de los recubrimientos en el color de las fresas (**Figura 2e**). Los recubrimientos a base de quitosano y CF mantienen 6 días el color de las fresas con respecto al control (sin recubrimiento). Sin embargo, el quitosano por si solo muestra un efecto antioxidante, pero estadísticamente (Prueba de Tukey  $p < 0.05$ ) inferior al que presentan los recubrimientos formulados con compuestos fenólicos.



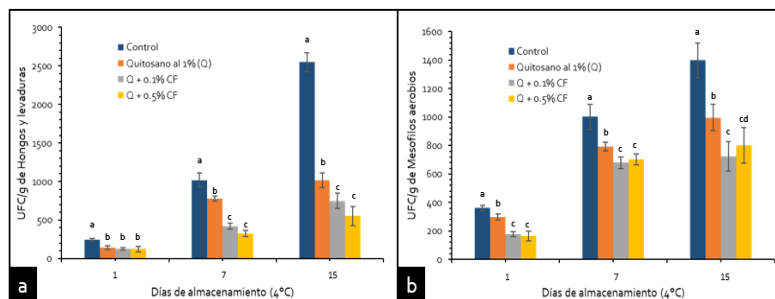
**Figura 3. Perfil de textura (Firmeza) de fresas con recubrimientos comestibles a base de quitosano y compuestos fenólicos de la flor de jamaica**

Los valores de firmeza (**Figura 3**) para los tratamientos T1 y T2 no mostraron diferencia significativa durante la cinética de deterioro de las fresas en refrigeración. Sin embargo el empleo de CF, mantuvo una mayor firmeza con respecto a los controles. Han, C., *et al.*, (2004) realizó un estudio similar de la aplicación de quitosano (0-1%) en fresa. Los valores de firmeza son similares para el control (quitosano),

comprobando así, que el quitosano es un polímero antifúngico que genera una barrera permeable que evita la migración de agua al exterior, manteniendo así la firmeza de las fresas. Con respecto al conteo de mesófilos aerobios (**Figura 4a**) y hongos y levaduras (**Figura 4b**) se observó que la concentración de 0.1% de CF de la flor de jamaica presento una mayor actividad antifúngica con respecto al tratamiento T2 con 0.5%. Los valores del recuento de Hongos y Levaduras coinciden con lo reportado a Ali *et al.*, (2010) para una concentración de quitosano al 1% (Control) y Djoua *et al.*, (2010).

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de la presente investigación, se concluye que los compuestos fenólicos de la flor de jamaica se pueden extraer con diferentes solventes (etanol, metanol y acetona), sin que se vea afectado su rendimiento de extracción y son termoestables en un amplio rango de temperatura de secado para su aplicación en alimentos. Su incorporación (o inmovilización) en los recubrimientos comestibles a base de quitosano, es una alternativa para la conservación de alimentos percederos, haciendo posible la prolongación de la vida útil de los mismos, gracias a su potencial antioxidante y antimicrobiano.



**Figura 4. Análisis microbiológico de recubrimientos comestibles a base de quitosano y compuestos fenólicos de la flor de jamaica. Donde a) Hongos y Levaduras y b) Aerobios mesofílicos.**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou-Arab, A. A., Abu-Salem, F. M. y Abou-Arab, E. A. 2011. Physico-chemical properties of natural pigments (anthocyanin) extracted from roselle calyces (*Hibiscus subdariffa*). *Journal of American Science*. 7(7):445-456.
- Ali, A., Muhammad, M., Sijam, K. y Siddiqui, Y. (2010). Potential of chitosan coating in delaying the postharvest anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of Eksotika II papaya. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 2134-2140.
- Ayala-Zavala JF, del Toro-Sanchez L, Alvarez-Parrilla E, Soto-Valdez H, Martin-Belloso O, Ruiz- Cruz S, González-Aguilar G (2008b) Natural antimicrobial agents incorporated in active packaging to preserve the quality of fresh fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Rev* 4(3):1-9
- Djioua, T., Charles, F., Freire, M., Filgueiras, H., Ducamp-Collin, M. y Sallanon, H. (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh cut mangoes (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), 849-855.

Gradinaru, G., Biliaderis, C. G., Kallithraka, S., Kefalas, P., & Garcia-Viguera, C. (2003). Thermal stability of Hibiscus sabdariffa L. anthocyanins in solution and in solid state: effects of copigmentation and glass transition. *Food Chemistry*, 83(3), 423-436.

Han, C., Lederer, C., McDaniel, M. y Zhao, Y. (2004). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan based edible coatings. *Journal of Food Science*, 70, S172–8.

Marquez, R., De la Rosa, C., Agosto, C., & Medina, M. (2007). Actividad diurética del extracto total acuoso de los cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. administrado en ratas albinas variedad Wistar. *Scientia et Technica*, 8(33), 377-381

Norma Oficial Mexicana (NOM-092-SSA1-1994), Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

Norma Oficial Mexicana (NOM-111-SSA1-1994) Bienes y servicios. Métodos para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos

Olivas G, Barbosa-Cánovas G (2005) Edible coatings for fresh-cut fruits. *Crit Rev Food Sci Nutr* 45(7–8):657–670

Rebolo, S.(2007) Estudio de la composición polifenólica de vinos tintos gallegos con D.O.: Ribeiro, Valdeorras y Ribeira Sacra. Universidad de Santiago Compostela. España.

Restrepo-Sánchez, D., Narváez-Cuenca, C., Restrepo-Sánchez, L. (2009). Extracción de compuestos con actividad antioxidante de frutos de guayaba cultivada en Vélez Santander, Colombia. *Química Nova*, 32(6), 1517-1522

Schieber A, Stintzing F, Carle R (2001) By-products of plant food processing as a source of functional compounds—recent developments. *Trends Food Sci Technol* 12(11):401–413

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999): Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299, 152-178.

Vázquez-Briones, M. C., y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 5-1

Velázquez-Moreira, A., y Guerrero-Beltrán, J. A. (2014). Algunas investigaciones recientes en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(2), 5-12.

Wijngaard H, Hossain MB, Rai DK, Brunton N (2012) Techniques to extract bioactive compounds from food by-products of plant origin. *Food Res Int* 46(2):505–513

Wijngaard HH, Röbke C, Brunton N (2009) A survey of Irish fruit and vegetable waste and byproducts as a source of polyphenolic antioxidants. Food Chem 116(1):202–207



## DIFERENCIA ENTRE APLICAR AIRE CALIENTE Y AIRE MEDIO HUMIDIFICADO COMO TECNOLOGÍA DE POSCOSECHA EN LA CALIDAD DE LA FEIJOA (*ACCA SELLOWIANA*).

**David Leopoldo Sánchez Rubio<sup>1</sup>, Cristhian Giovanni Perdigon Zorrilla<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Estudiante de pregrado en Ingeniería Agrícola Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[dalsanchezru@unal.edu.co](mailto:dalsanchezru@unal.edu.co); +57 3112975449; Colombia.

<sup>2</sup> Estudiante de pregrado en Ingeniería Agrícola Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

[cgperdigon@unal.edu.co](mailto:cgperdigon@unal.edu.co); +57 3102903907; Colombia.

### RESUMEN

La feijoa (*Acca sellowiana*) es una fruta climatérica exótica de América del Sur, por su atractivo sabor agridulce ha venido posicionándose tanto en el mercado nacional como internacional. Por este motivo es pertinente avanzar en el desarrollo y aplicación de tecnologías de poscosecha que propendan por su adecuado manejo y conservación. Este estudio tuvo como objetivo comparar resultados previos del efecto en la calidad poscosecha de frutos de feijoa sometidos a una corriente de aire caliente a temperatura de 41°C y HR de 57% (T2) durante 4 horas, con los frutos sometidos a una corriente de aire medio a temperatura de 24.6°C y HR de 64.3% (T.1.A) y (T.2.R), durante 4 horas. Posteriormente se evaluaron parámetro físico - químicos en el almacenamiento durante dos semanas en condiciones ambientales y de refrigeración. Se encontró disminución en la pérdida de peso de los tratamientos frente a control de (T2), sin detrimento de parámetros químicos como intensidad respiratoria (IR) e índice de madurez (IM). Entre los tres tratamientos, los que presentan las mejores condiciones son T.1.A (24.6°C, 64.3% HR) y T.2 (41°C, 57% HR) según parámetros como la pérdida de peso, % contracción, IR e IM.

**Palabras clave:** *Acca sellowiana*, humidificación, tratamientos, temperatura, conservación.



## ABSTRACT

The Feijoa (*Acca sellowiana*) is an exotic climacteric fruit from South America, for this attractive bittersweet flavor, it has owned both in the national and international market. For this reason, it is important to advance in the development and application of post-harvest technologies that favor their proper management and conservation. The objective of this study was to compare previous results of the effect on the postharvest quality of feijoa fruits subjected to a hot air current at a temperature of 41°C and an RH of 57% (T2) during 4 hours, with the fruits subjected to an average air flow at a temperature of 24.6°C and RH of 64.3% (T.1.A) and (T.2.R), during 4 hours. Subsequently, physical - chemical parameters were evaluated in the storage for two weeks in environmental and refrigeration conditions. There was a decrease in the weight loss of the treatments compared to the control of (T2), without detriment to chemical parameters such as respiratory intensity (RI) and maturity index (IM). Among the three treatments, those with the best conditions are T.1.A (24.6°C, 64.3% RH) and T.2 (41°C, 57% RH) according to parameters such as weight loss, shrinkage %, IR and IM.

**Key words:** *Acca sellowiana*, humidification, treatments, temperature, conservation.

## INTRODUCCIÓN

La feijoa (*Acca sellowiana*) es una especie frutícola de la familia *Myrtaceae*, según estudios realizados en Boyacá-Colombia; el 87,5% de los productores comercializan la feijoa directamente a centrales de abastos e intermediarios de la zona. (Puentes *et all.*, 2016). Para la región andina colombiana la feijoa es un fruto con muchas ventajas ya que presenta adaptabilidad de siembra en zonas con altitudes que comprenden entre los 1.800 a 2.700 msnm (Sánchez Rubio, D.L. *et all.*, 2016). El control de la producción de etileno y las altas tasas de respiración favorece el control de la maduración en un fruto climatérico como la feijoa, para su comercialización y almacenamiento el fruto disminuye sus propiedades de peso, turgencia y el pH (Parra, 2014), razón por la cual se necesitan desarrollar tecnología que preserve su calidad.

Sánchez Rubio, D.L. *et all.*, (2016) en feijoa indica que humidificar con aire caliente reporta una menor reducción del porcentaje de pérdida de peso y consecuentemente en el porcentaje de contracción. Aumentos moderados en el IM, los frutos soportan mayores deformaciones antes de poder ser penetrados y menores valores de desverdizado en el IC externo. Investigadores en el medio oriente han demostrado que se pueden obtener resultados óptimos en el uso de los tratamientos térmicos para la conservación de productos. Zhao Yu-ying y Liu Le-cheng (2015) demuestra que en la vaina del Caupí o frijol de carita el resultado del tratamiento con aire caliente podría retrasar el aumento de electrolitos, pérdida de peso y se mantiene el sabor y la textura deseada. Zheng Cong (2014) reporta que para la fresa en sus resultados del tratamiento con aire caliente mantiene la calidad y la actividad antioxidante al regular la expresión de genes relacionados con la calidad. En un estudio realizado a partir 2004 Gloria Soto junto con otros investigadores encontraron que en el tomate aplicando una corriente de aire a 34 °C durante 24 horas, antes de un almacenamiento a 10 °C y durante 30 días se registran pérdidas en contenido antioxidante y color de fruta.

Este trabajo de investigación propone evaluar las diferencias de dos muestras de frutos de feijoa sometidas a corriente de aire a temperatura media y su respuesta en dos condiciones de almacenamiento, para su posterior comparación con resultados encontrados previamente con una muestra humidificada con aire caliente y su control. Esta evaluación se realiza a través del seguimiento a la pérdida de peso, propiedades fisicoquímicas y propiedades mecánicas, esperando que los resultados obtenidos den precedentes para continuar investigando sobre humidificación de aire como tecnología de poscosecha y su impacto en la calidad de los productos agrícolas.

## METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó en la ciudad de Bogotá en el laboratorio de poscosecha del campus de la Universidad Nacional de Colombia, coordenadas 4°38'08"N 74°04'58"O. Los frutos se cosecharon en su madurez fisiológica en el municipio de Tibasosa (Boyacá, Colombia) a 2.538 msnm, seleccionando muestras y clasificándolas en un arreglo aleatorio.

Para este estudio se establecieron cuatro tratamientos: a) TC: Tratamiento control de T2; b) T2: Tratamiento corriente de aire caliente humidificado a 41°C y 57 % de humedad relativa (HR) durante 4 horas; c) T.1.A: Tratamiento corriente de aire medio humidificado a 24.6 °C y 64.3 % HR durante 4 horas; d) T.2.R: Tratamiento corriente de aire humidificado a 24.6 °C y 64.3 % HR durante 4 horas. El primero (T2) y su tratamiento control (TC) fueron cosechados y sus resultados evaluados por Sánchez Rubio, D.L. en el año 2016, los segundos (T.1.A) y (T.2.R) fueron cosechados en la misma época del año 2017. Los resultados de T.1.A y T.2.R se compararon con los resultados encontrados de T2 y su tratamiento control TC en el 2016. Las condiciones de almacenamiento fueron las mismas para TC, T2 y T.1.A; En los tres casos T2, T.1.A y T.2.R los frutos de feijoa fueron dispuestos en bandejas enmalladas por donde se pasó la corriente de aire caliente y medio humidificado en un psicrómetro.

Los frutos TC, T2 y T.1.A fueron almacenados por 12 días a condiciones ambiente (20°C y 49% de HR), T.2.R se almacenó en un refrigerador a una temperatura de 4°C. Durante dos semanas se realizaron análisis de laboratorio de porcentaje de pérdida de peso, porcentaje de contracción del diámetro ecuatorial, intensidad respiratoria (IR), carga máxima, deformación, trabajo, carga final, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez total titulable (ATT) e índice de madurez (IM).

Para las mediciones se usaron los siguientes equipos: Una balanza con precisión 0,001 Kg para la pérdida de peso, un pie de rey de 0,01 mm de precisión para determinar el diámetro ecuatorial, para la IR se usaron sensores infrarrojos “Vemier” en cámaras de respiración de 2L registrando la concentración de CO<sub>2</sub> en ppm, la consistencia para hallar la carga máxima (Kgf/cm<sup>2</sup>), deformación (mm), trabajo (mJ) y la carga final (gf) se midió con un analizador de textura “Brookfield CT3”, los SST (°Brix) se determinaron con un refractómetro manual óptico “SO-RH”, a través del método potenciométrico se midió pH y con un Hidróxido de Sodio a 0,1 N se midió ATT.

Para identificar la dependencia o variación de la información recopilada y la evaluación del comportamiento de los distintos tratamientos se utilizaron los siguientes métodos: El análisis

estadístico de datos se hizo a partir de matrices de correlación de Pearson, análisis de varianzas y medias, análisis de tendencias.

## ANÁLISIS DE RESULTADO

Tabla 1. Estadísticos descriptivos

	% Pérdida de Peso	% Contracción	TR	Carga Máx	Deformación	Trabajo	Carga Final	pH	SST (°BRIX)	ATT	IM
<b>TRATAMIENTO HUMIDIFICADO AIRE MEDIO ALMACENADO EN REFRIGERACIÓN (T.2.R)</b>											
Media	2,26624943	6,321187872	12,32566289	29,8919509	3,325	44,71980741	81,27574074	3,500833333	12,77222222	8,994910636	3,786306177
DesvTípica	1,372504702	6,101461358	5,256713603	5,481702248	0,419254924	12,12863416	14,2389733	0,906975284	0,93057131	11,56205559	3,129925599
Varianza	1,883769156	37,22783071	27,63303791	30,04905954	0,175774691	147,1087665	202,7483607	0,822604167	0,865962963	133,6811294	9,796434256
<b>TRATAMIENTO HUMIDIFICADO AIRE MEDIO ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE (T.1.A)</b>											
Media	5,116009137	10,12215572	27,07834333	23,70082361	3,877777778	31,52688889	109,8944444	4,083333333	11,72777778	4,743849594	3,638859523
DesvTípica	4,310571366	9,504847634	13,47279559	9,018199348	0,573832685	16,43356986	160,1672149	1,155532585	1,022505999	5,016661206	1,934806158
Varianza	18,5810255	90,34212855	181,516221	81,32791947	0,329283951	270,0622182	25653,53673	1,335255556	1,045518519	25,16688965	3,74347487
<b>CONTROL (TC)</b>											
Media	10,09495267	4,32070948	25,18841179	29,79287694	4,421111111	33,95203704	92,2962963	3,740277778	11,41111111	10,25521202	1,575304706
DesvTípica	7,206314049	2,7558204	12,92742112	7,886662904	1,059390694	7,097451974	24,53897547	0,640716974	1,010756959	7,131661627	0,876615634
Varianza	51,93096217	7,592130187	167,1182168	62,19945176	1,122308642	50,37382453	602,1613169	0,410518241	1,02162963	50,86059756	0,76845497
<b>TRATAMIENTO HUMIDIFICADO AIRE CALIENTE ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE (T2)</b>											
Media	8,121715587	3,051363516	27,58250647	28,42524125	4,985185185	30,37685185	84,73148148	3,886944444	11,125	7,492681701	1,57800608
DesvTípica	6,161084055	2,334486377	19,78579559	2,951368069	0,952570704	2,144604648	35,88222619	0,373219353	1,102812062	2,451027097	0,363395201
Varianza	37,95895674	5,449826644	391,4777072	8,730573476	0,907390947	4,599329095	1287,534156	0,139292685	1,216194444	6,00753883	0,132056072

Tabla 2. Matriz de Pearson T.2.R

<b>TRATAMIENTO HUMIDIFICADO AIRE MEDIO ALMACENADO EN REFRIGERACIÓN (T.2.R)</b>											
<b>Correlaciones</b>											
	Pérdida de peso	Contracción	TR	Carga Máx	Deformación	Trabajo	Carga Final	pH	SST (°BRIX)	ATT	IM
Pérdida de peso	1										
Contracción	0,813	1									
TR	-0,905	-0,507	1								
Carga Máx	-0,738	-0,816	0,662	1							
Deformación	0,694	0,802	-0,542	-0,593	1						
Trabajo	0,335	0,617	-0,142	-0,289	,897	1					
Carga Final	-0,700	-0,651	0,642	0,380	-,942	-0,830	1				
pH	,902	0,650	-0,813	-0,436	0,456	0,144	-0,555	1			
SST (°BRIX)	-0,488	-0,428	0,494	0,869	-0,302	0,022	0,111	-0,139	1		
ATT	-,900	-0,523	,936	0,391	-0,499	-0,155	0,651	-,945	0,202	1	
IM	0,521	0,192	-0,509	0,003	-0,109	-0,339	-0,088	0,823	0,189	-0,729	1

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 3. Matriz de Pearson T.1.A

<b>TRATAMIENTO HUMIDIFICADO AIRE MEDIO ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE (T.1.A)</b>											
<b>Correlaciones</b>											
	Pérdida de peso	Contracción	TR	Carga Máx	Deformación	Trabajo	Carga Final	pH	SST (°BRIX)	ATT	IM
Pérdida de peso	1	,947									
Contracción	,947	1									
TR	0,433	0,509	1								
Carga Máx	-0,649	-0,621	-,910	1							
Deformación	0,672	0,652	0,065	-0,095	1						
Trabajo	-0,700	-0,658	-,892	,996	-0,175	1					
Carga Final	-0,590	-0,558	-,938	,975	-0,171	,978	1				
pH	,964	0,909	0,792	-0,888	0,533	-0,924	-0,919	1			
SST (°BRIX)	-0,528	-0,373	0,383	-0,184	-0,829	-0,097	-0,151	-0,278	1		
ATT	-0,836	-0,722	-0,715	,918	-0,361	,946	,895	-,966	0,206	1	
IM	,960	,922	0,612	-0,817	0,469	-0,847	-0,741	,999	-0,284	-,915	1

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

## **Pérdida de peso**

A la hora de evaluar la pérdida de peso del fruto en sus distintos tratamientos podemos observar que T.1.A y T.2.R presentaron una pérdida de peso día del 0,92 y 0,26 (%) en contraste con 1,46 y 1,7 (%) de T2 y TC encontrados por Sánchez Rubio D.L. *et al.*, (2016). El resultado de T.2.R, en cuanto a refrigeración, coincide con lo reportado por Gutiérrez *et al.*, (2012) en el caso de la guayaba (familia *Myrtaceae*) que almacenada en estas condiciones presenta menores porcentajes de pérdida de peso en contraste con los frutos almacenados a temperatura ambiente. Los 3 primeros días T.1.A y T.2.R presentan un mismo comportamiento. No solo se evidencia menor pérdida de peso de manera general con esta tecnología de poscosecha, coincidiendo con lo reportado por Zhao Yu-ying y Liu Le-cheng (2015), sino que también se encuentra una diferencia entre humidificar con aire caliente (T2) y aire a temperatura media (T.1.A) como se evidencia en la Figura 1.

## **Intensidad Respiratoria**

Se encuentra una fuerte diferencia en la producción de CO<sub>2</sub> en las dos condiciones de almacenamiento, mostrando (Figura 2) que la tasa respiratoria de la feijoa en almacenamiento a temperatura ambiente presenta una mayor producción de CO<sub>2</sub> entre 20,3 y 166,5 (mg CO<sub>2</sub>/kg.h), en comparación con el almacenamiento en refrigeración entre 26,1 y 92 (mg CO<sub>2</sub>/kg.h). Gutiérrez *et al.*, (2012) demuestra que existe una tendencia similar en guayaba almacenada a temperatura ambiente entre 60 y 100 mL CO<sub>2</sub> • kg<sup>-1</sup> -1 y en almacenamiento refrigerado entre 15 y 20 mL CO<sub>2</sub> • kg<sup>-1</sup>-1.

## **Porcentaje de contracción del diámetro ecuatorial**

En T.1.A y T.2.R se evidencia (Figura 3) una reducción en el diámetro ecuatorial de igual manera que en lo reportado por Sánchez Rubio, D.L. *et al.*, (2016) en los casos de T2 y TC. La correlación en la matriz de Pearson en el caso de T.1.A y T.2.R (Tabla 2 y 3), muestra una relación directamente proporcional a la pérdida de peso, con una correlación más significativa de 0,947 en T.1A a un 0,01 (bilateral) con respecto a la correlación de 0,813 en T.2.R.

## Deformación

Holanda Martínez-Martínez *et al.*, (2017) reporta que las propiedades de deformación en guayaba no fueron significativas estadísticamente. Según la matriz de Pearson (Tabla 2 y 3) existe una correlación inversa respecto a la carga final en T.2.R, con un valor de (- 0,942) a un nivel de significancia 0,05 (bilateral). En el caso T.1.A no se encuentra alguna correlación significativa con las demás variables. Sánchez Rubio, D.L. *et al.*, (2016) reporta que TC encuentra dos correlaciones significativas directamente proporcionales con pH e IM de 0,902 y 0,924, con niveles de significancia de 0,05 y 0,01 (bilateral).

## Índice de Madurez

El índice de madurez (IM) según lo reporta Martínez *et al* (2008), sirve para medir la calidad organoléptica de los frutos encontrando en su investigación un IM (SST/ATT) en campo entre 4,73 a 5,73; medido del fruto de feijoa en distintas partes árbol. Evaluando el IM del fruto en sus distintos tratamientos podemos observar que T.1.A y T.2.R presentaron una Media (Tabla 1) del 3,64 y 3,79 (IM); con desviaciones típicas de 1,93 y 3,13; en contraste por los encontrados por Sánchez Rubio D.L. *et al.*, (2016), de T2 y TC que presentaron una Media del 1,58 y 1,57 (IM); con desviaciones típicas de 0,88 y 0,36; T.2 continúa siendo más estable en cuanto a IM, debido a que su desviación típica es más baja, presentando una tendencia lineal y aumentando el IM en un 0.08% día aproximadamente.

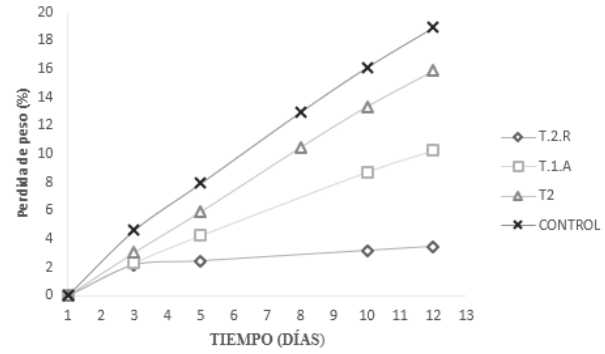


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso

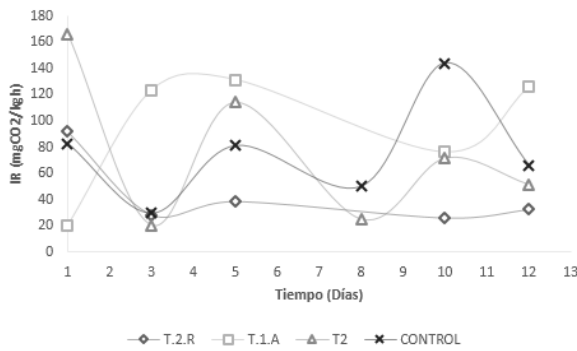


Figura 2. Intensidad respiratoria

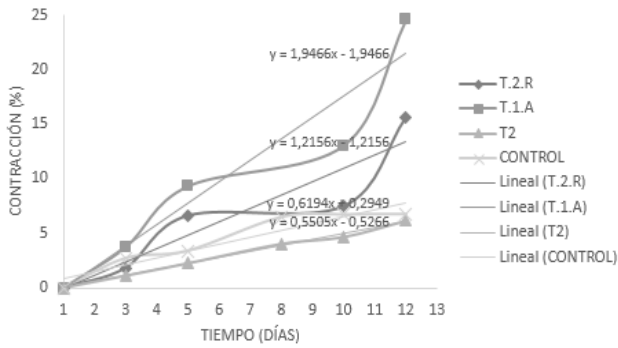


Figura 3. Porcentaje de contracción

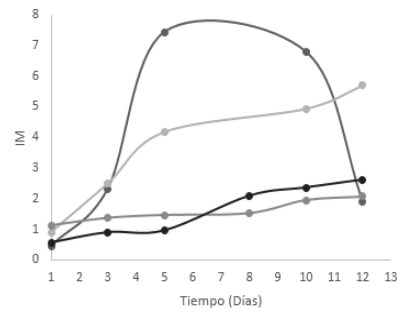


Figura 4. Índice de madurez



## CONCLUSIONES

Se encontraron resultados positivos en la muestra de los frutos de feijoa de T.1.A, sometido a un proceso de humidificación con aire medio a 24.6°C y HR de 64.3% durante 4 horas, en comparación con T2, sometido a un proceso de humidificación con aire caliente a 41°C y HR de 57% durante 4 horas, y TC con los datos reportados por Sánchez Rubio, D.L. *et all.*, (2016). Revelando una menor reducción del porcentaje de pérdida de peso, parámetro importante en la estimación del precio de comercialización del producto. Al refrigerar se esperaba que T.2.R tuviera menor porcentaje de pérdida de peso según la literatura, pero no presento aumentos moderados en el IM con como los revelados por T.1.A; T.2 y TC. Los frutos con menores deformaciones antes de ser penetrados son los de los T.2.R seguido de T.1.A.

Se espera tener mejores resultados aumentando las horas de exposición de la fruta con el vapor de aire caliente y medio. Recomendando realizar estudios en otras especies de frutas considerando un tratamiento control en refrigeración y en cada proceso por separado.

## BIBLIOGRAFÍA

- COMBARIZA, L. F., NEIRA, C. A., FISCHER, G., CORREDOR, G., & QUINTERO, O. C. (2007). Crecimiento, producción y calidad de fruta en feijoa. Revista colombiana de ciencias hortícolas, 1(2), 170-181.113,975+96153+159260+197169.
- GUZMÁN N, S. D. (2012). Fisiología y atributos de calidad de la guayaba “pera” (*Psidium guajava* cv.) en poscosecha. Revista de Ingeniería, 37, 26-30.
- MARTÍNEZ H, A. P.-L.-O.-G. (2017). Propiedades físico-mecánicas y simulación por computadora del daño. Acta agrícola y pecuaria.
- MARTÍNEZ-VEGA, R. R., FISCHER, G., HERRERA, A., CHAVES, B., & QUINTERO, O. C. (2008). Características físico-químicas de frutos de feijoa influenciadas por la posición en el canopi. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas, Vol. 2 (No. 1), pp. 21-32.



- PARRA A. (2014). Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Agronomía, Escuela de posgrados Bogotá, Colombia.
- PUENTES G., SÁNCHEZ A, SERRANO A. (2016). Estudio de mercados para la feijoa (*Acca Sellowiana Berg*) en fresco producida en el municipio de Tibasosa (Boyacá) Colombia, Revista Mexicana De Agronegocios.
- RAMIREZ M, E. G.-F.-O. (2014). Modelo de Optimización aplicado a la agro-industria colombiana: Plan logístico integrado para la exportación de feijoa fresca.
- SÁNCHEZ RUBIO, D. L., PÉREZ-B, J. H., & CLAUDIA RODRÍGUEZ., C. P. (2016). Efecto de la aplicación de aire caliente humidificado como tecnología poscosecha en la calidad de la feijoa. En U. A. Chapingo (Ed.), memorias VII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Estudiantes de Ingeniería Agrícola (2016). Texcoco-México. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Facultad de Ingeniería.
- ZHAO Yu-ying, L. L.-c. (2015). Effect of Hot Air Treatment on Storage Quality of Postharvest Cowpea Pod. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition).
- ZHENZHONG L; XU, L; WANG, Q. (2010). Effect of hot air treatment on postharvest quality of zhonghuashou peach. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, Volume 26, Number 1 pp. 375-379.

## EFFECTOS DEL PROCESO HTST EN EL SECADO CONVECTIVO DE UCHUVA (PHYSALIS PERUVIANA)

### EFFECTS OF THE HTST PROCESS ON THE CONVECTIVE DRYING OF UCHUVA (PHYSALIS PERUVIANA).

**Juan Hilario Martínez Pinilla <sup>1</sup>, Héctor Alfonso Castelblanco González <sup>2</sup> and  
Carolina María Sánchez-Sáenz <sup>3</sup>**

1. Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá – Facultad de Ingeniería. – Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. E-mail: juhmartinezpi@unal.edu.co. Tel: +57 1 3165000
2. Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá – Facultad de Ingeniería. – Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. E-mail: hacastelblancog@unal.edu.co Tel: +57 1 3165000
3. Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá – Facultad de Ingeniería. – Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. E-mail: cmsanchezs@unal.edu.co. Tel: +57 1 3165000 ext 16624

#### RESUMEN

En el presente artículo se presentarán los resultados obtenidos a partir de un modelo estadístico central compuesto rotacional del secado convectivo de Uchuva (*Physalis Peruviana*) y la implementación de pre tratamiento HTST (High Temperature and Short Time), tomando como variables independientes, la temperatura (entre 120 y 160 °C) y el tiempo de exposición al proceso de secado (entre 20 y 30 minutos). Las variables dependientes para la aplicación fueron el diámetro, difusividad efectiva, color y actividad de agua. Para el secado convectivo posterior se mantuvo el secador a 75 °C de forma constante hasta llegar a la humedad de equilibrio. Las variables de temperatura y tiempo establecidas en el modelo fueron estadísticamente significativas y representativas para el proceso de difusividad efectiva y actividad de agua. La reducción en tamaño fue de un 33% y no se presentaron cambios significativos en el color de las uchuvas.

**Palabras-clave:** *difusividad efectiva*, HTST, *Physalis peruviana*, pre tratamiento, secado convectivo.

## ABSTRAC

In these paper the results obtained from a statistical model central rotational compound of the convective drying of Uchuva (*Physalis Peruviana*) and the implementation of pretreatment HTST (High Temperature and Short Time), taking as independent variables, the temperature (between 120 and 160 °C) and the exposure time to the drying process (between 20 and 30 minutes). The dependent variables for the application were diameter, effective diffusivity, color and water activity. For the subsequent convective drying the dryer was maintained at 75 °C in a constant manner until equilibrium moisture content. The temperature and time variables established in the model were statistically significant and representative for the process of effective diffusivity and water activity. The reduction in size was 33% and there were no significant changes in the color of the Uchuva.

**Keywords:** Effective diffusivity, HTST, *Physalis peruviana*, pre-treatment, convective drying.

## INTRODUCCIÓN

La uchuva (*Physalis peruviana*) es un fruto originario de las zonas andinas de Perú (Fischer & Martínez, 1999), la producción nacional se encuentra principalmente ubicada en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Tolima y Cundinamarca; es en este último donde se encuentra aproximadamente el 80% de la explotación comercial de la uchuva en Colombia (Fischer, Almanza-merchán, and Miranda 2014).

El fruto de la uchuva es una baya jugosa y carnosa de color amarillo-naranja cuando está madura; se desarrolla dentro de un cáliz globoso acrescente que protege al fruto hasta su madurez. En el fruto de la uchuva se han encontrado altos niveles de minerales, como Fe y P, fibra, vitaminas A y C (Fischer, 1999); además, se le atribuyen propiedades medicinales, como purificar la sangre, disminuir la albumina de los riñones, fortificar el nervio óptico, limpiar las cataratas y aliviar las afecciones de garganta (Fischer, Almanza-merchán, and Miranda 2014).

Por cuestiones de sanidad y exigencias del mercado se deshidratan los cálices con aire forzado, entre 18 y 24°C, unas 6 horas o más, según su humedad, antes o después del

empaque en cestas de plástico con un peso de frutos de 100- 150 g (Galvis, Fischer, & Gordillo, 2005). Para la exportación se empacan los frutos en cajas de cartón de un peso de frutos de 1 kg, por ejemplo 8 cestas de 125 g, cada una, mientras para el mercado nacional son comunes canastillas de polietileno para 250 a 500 g de frutos sin cáliz, con cubierta de vinipel, como describe para Colombia la norma NTC 5166 de Icontec.

Los frutos de uchuva se secaban en un principio sobre mesones o láminas, evitando el amontonamiento, a 12 °C por un periodo de 8 h y sin utilizar ventiladores por 3 días. Actualmente los comercializadores realizan el secado de forma empírica; se emplea aire forzado a dos temperaturas de secado (18 y 24 °C) por 36 h. (Novoa, Bojacá, & Galvis, 2006), encontraron que la deshidratación del cáliz es mayor y más rápida con secado en aire a 24 °C y durante 6 h.

En los procesos convencionales de secado de uchuvas se hace el secado por métodos convectivos (García et al. 2012) a 60°C con tiempo de 10h (Vásquez Parra , Ochoa Martínez, & Bustos Parra, 2013) o con temperatura de 18 y 24°C por 36h. El secado fue realizado a 75°C durante 6h por (Nazmi, 2014). En la búsqueda bibliográfica se encuentran tiempos de secado de hasta 36h y en los tiempos de una experimentación previa se encontraron grandes limitantes por dichos tiempos de secado (Díaz 2015). Para optimizar el proceso de secado dadas las propiedades de baja permeabilidad de la piel de la uchuva (Graciella Colato & Xidieh Murr, 2008), se buscan alternativas de secado como liofilización o secado por radiación en horno microondas (Nazmi, 2014) y la implementación del método de HTST (High Temperature in Short Time) o como se conoce en la literatura puffing con el cual se busca extraer agua y aumentar el tamaño de la muestra a secar para dar una textura determinada al producto (Graciella Colato & Xidieh Murr, 2008). Este proceso es usado en diferentes productos como el banano y papa, para dicho producto se busca aumentar su tamaño y darle propiedades “crujientes”.

La implementación de un pre tratamiento por HTST y su evaluación por métodos estadísticos, tomando como variables el tiempo y temperatura permite determinar las ventajas que puede llegar a generar dicha implementación. Los frutos se secarán sin el cáliz con el fin

de verificar el comportamiento del secado en el color y el cambio de geometría (diámetro) de los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima:

Se adquirieron uchuvas de mercado local, procurando tener en cuenta el tamaño de las mismas según NTC 5166, el color y el estado superficial de las mismas, que no tuvieran golpes o magulladuras aparentes y que la piel fuera uniforme. A partir de esta materia prima se seleccionaron doce uchuvas con un peso aproximado de 49 gr +/- 1 con diámetros aproximados de 16 a 21 mm.

### Equipo de secado:

Tanto el pre-secado (HTST) como el secado de la uchuva se realizaron en un horno convectivo (HERATHERM OMS 100, a 1.66 kW, 13.8A y 120V) ubicado en el laboratorio de poscosecha de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia. La velocidad del aire en este equipo se mantuvo constante (1.3 m/s) durante todo el proceso de secado.

### Diámetro:

La variación del diámetro fue determinado mediante un calibrador vernier marca Mitutoyo, con una precisión (0.05mm), realizando mediciones sobre los tres planos y promediando a las frutas en estado natural y posterior al secado.

### Contenido de agua:

El contenido de agua fue determinado por horno convectivo dejando las muestras 24 horas a una temperatura de 105°C (AOAC, 1995).

### Actividad de agua:

Se analizó la actividad de agua mediante dispositivo HIGROLAB3 serie CH-8303 (resolución de 0,01), realizando tres mediciones por cada tratamiento antes y después del secado. Para el análisis de los datos se realizó la media aritmética.

### Color:

El color fue medido con un colorímetro Chroma Meters CR-400 marca KONIKA MINOLTA. El espacio de color  $L^*a^*b^*$  fue modelado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo. Donde, L indica la luminosidad a y b son las coordenadas cromáticas.

### Difusividad efectiva:

La difusividad efectiva fue determinada mediante ley de Fick para una esfera utilizando para ello la ecuación planteada como se muestra a continuación:

$$Y = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[ -n^2 \pi^2 D_{\text{ef}} \frac{t}{r^2} \right] \quad (1)$$

donde:

r – radio de la esfera (m); Y – contenido de agua adimensional; n – número de términos;

t – tiempo (s);  $D_{\text{eff}}$  – difusividad efectiva ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

### Proceso de secado:

Para el pre-secado (HTST) un diseño experimental  $2^2$  fue utilizado para estudiar los efectos de las variables independientes: temperatura del aire de secado (T) y tiempo de exposición al aire convectivo (t) en relación a las respuestas o variables dependientes: difusividad efectiva ( $D_{\text{ef}}$ ); contenido de agua Hbs (%), diámetro (d) y actividad de agua ( $a_w$ ) en el secado de uchuva. Fueron adicionados tres puntos centrales y cuatro puntos axiales a los cuatro puntos factoriales, totalizando así 11 ensayos (Tabla 1). El secado se realizó a  $75^\circ\text{C}$  hasta la humedad de equilibrio.

**Tabla 1. Diseño experimental para el pre – secado (HTST) de uchuva**

Ensayo	Variables Independientes			
	Codificadas		Real	
	Temperatura	tiempo	T (°C)	t(min)
1	-1	-1	126	21,5
2	1	-1	154	21,5
3	-1	1	126	29
4	1	1	154	29
5	- $\alpha$	0	120	25
6	+ $\alpha$	0	160	25
7	0	- $\alpha$	140	20
8	0	+ $\alpha$	140	30
9	0	0	140	25
10	0	0	140	25
11	0	0	140	25

#### Análisis estadístico:

Se utilizó el software STATISTICA 10.0 (Statsoft, Tulsa, EUA) para evaluar el efecto de los factores sobre las respuestas con nivel de confianza de 95% ( $p \leq 0,05$ ), análisis de variancia (ANOVA), obtención del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y aplicación del Teste F a los resultados.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se muestran las curvas de secado para cada una de los tratamientos incluyendo la pérdida de agua durante el pre -secado. Se puede observar que el tratamiento 6 tuvo una pérdida de humedad superior a los demás tratamientos, más sin embargo se observa que la humedad de equilibrio para todas las muestras se alcanzó alrededor de 350 minutos.

El porcentaje de reducción de diámetro promedio fue del 33% dentro de todas las muestras evaluadas, lo cual indica que es una condición favorable para el proceso de exportación porque el volumen ocupado y el peso del producto disminuye.

La cantidad de datos podría afectar en cierto punto la comparación de las curvas de secado, más sin embargo este dato no depende, para este caso de estudio del tiempo o la cantidad de datos obtenido si no de la pérdida inicial de agua en el HTST que fue del 29,1% aproximadamente para todos los tratamientos.

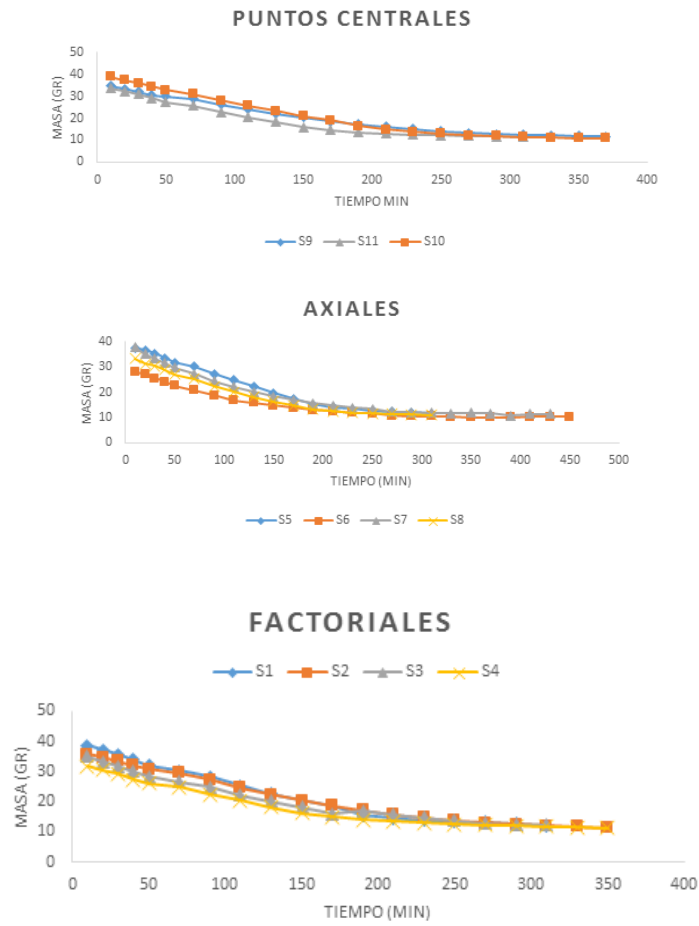
Realizado el análisis estadístico para la difusividad efectiva y actividad de agua, se observó que tanto la temperatura como el tiempo de secado en el HTST fueron estadísticamente significativos (Figura 2). El cambio de color no se vio afectado por la temperatura ni por el tiempo del proceso de secado.

Los modelos encontrados para la difusividad efectiva y para actividad de agua fueron:

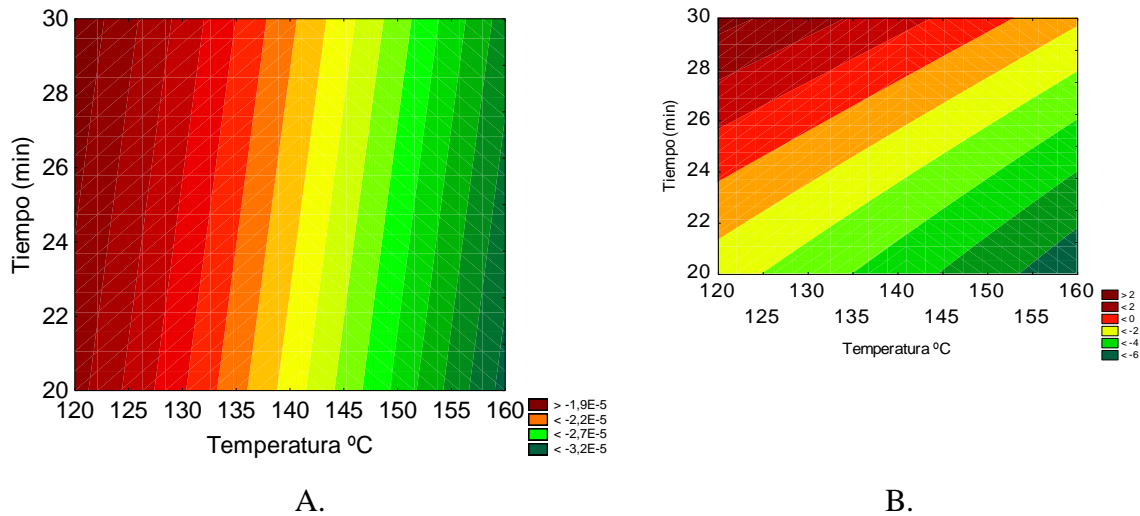
$$D_{ef} = 2.1 \times 10^{-8} - 6.07 \times 10^{-9} * T - 2.79 \times 10^{-9} * T^2 + 2.39 \times 10^{-9} * T * t \quad (2)$$

$$a_w = 0.504 - 0.023 * T - 0.0003 * T^2 + 0.0098 * t^2 \quad (3)$$





**Figura 1.** Curvas de secado para cada muestra pre tratada.



**Figura 2.** Curvas de contorno para A. Difusividad efectiva y B. actividad de agua en el HTST.

### CONCLUSIONES

El pre tratamiento HTST es una alternativa viable en el secado de productos y más específicamente en el de uchuva, puesto que se logra extraer un 30% aprox. de la humedad, condición que garantiza una reducción del tiempo total de secado y una ganancia energética y por ende económica del proceso.

La implementación del HTST no afecta el color de las uchuvas, se pueden hacer a futuro investigaciones de otras propiedades organolépticas para determinar si hay variaciones importantes en cantidad de azúcares, por ejemplo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC international. 930.04, Moisture content in plants, v.1, 949, 16.ed., Arlington: AOAC 1995.

Arnau, J. (1996). *Métodos y técnicas avanzadas de análisis de datos en ciencias del comportamiento*. Barcelona: Universidad de Barcelona.

- Fischer, G., & Martínez, O. (1999). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana*) en relación con el color del fruto. *Agronomía colombiana*, 16(1-3), 35-39.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva. *Revista Brasileira de fruticultura*, 1-15.
- Galvis, J. A., Fischer, G., & Gordillo, O. (2005). Cosecha y poscosecha de la uchuva. En *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva en Colombia* (págs. 165-190). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia- Unibiblos.
- Graciella Colato, A., & Xidieh Murr, F. E. (2008). Influence of osmotic dehydration and high temperature short time processes on dried sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Journal of Food Engineering*, 375-382.
- Nazmi, I. (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 9-17.
- Novoa, R., Bojacá, M., & Galvis, J. A. (2006). La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C. *Agronomía colombiana*, 77-86.
- Vásquez Parra, J., Ochoa Martínez, C., & Bustos Parra, M. (2013). Effect of chemical and physical pretreatments on the convective drying of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana*). *Journal of Food Engineering*, 119(3), 648-654.

## **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SUSTRATO BAJO DOS LÁMINAS DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA FRESA (*FRAGARIA X ANANASSA VAR. MONTEREY Y VAR. ALBIÓN*)**

**Salcedo Albarracín, Joan Sebastian<sup>1</sup>; Quintero- Arias G<sup>2</sup>.; Vargas- Cruz J.<sup>2</sup>; Acuña, J. F.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Auxiliar de Investigación, GTI-Grupo de Investigación de Gestión en Tecnología Innovación y Diseño Agroindustrial - Universidad Nacional de Colombia. [jssalcedoa@unal.edu.co](mailto:jssalcedoa@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera M. Sc. Investigadora GTI-Grupo de Investigación de Gestión en Tecnología Innovación y Diseño Agroindustrial - Universidad Nacional de Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero Ph. D. Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia

### **RESUMEN**

Se estudió un sustrato mixto de fibra de coco, cascarilla de arroz y escoria de carbón, analizando el comportamiento de un cultivo con dos variedades de fresa en condiciones de macrotúnel implementando dos láminas de riego. Para evaluar el efecto de las láminas de riego en el sustrato se analizó la humedad, la temperatura y la conductividad eléctrica del mismo, empleando la prueba de comparación de medias T de Student. Adicionalmente para el desarrollo de la planta se realizó un análisis de tasa de crecimiento utilizando comparación de medias ANOVA. Se observaron diferencias significativas en la Conductividad eléctrica y humedad del sustrato debido a las láminas de riego empleada. En la comparación de crecimiento de las plantas no se encontraron diferencias entre tratamientos y variedades de fresa. Se concluye que el sustrato mixto propuesto, permite un uso eficiente del agua sin afectar el comportamiento de la planta.

**PALABRAS CLAVE:** sustrato mixto, comportamiento de sustrato, uso eficiente del agua, fresa en sustrato.

## INTRODUCCION

El cultivo de fresa es especialmente sensible a la salinidad, generando daños en hojas y fruto, afectando directamente la parte fisiológica y productiva de la planta (Casierra-Posada & Riaño, 2006). Para su correcto desarrollo, la fresa debe cultivarse en sustratos con altos contenidos de humedad y capacidad de drenaje, debido su nivel de consumo de agua (Deaquiz, Álvarez-Herrera, & Pinzón-Gómez, 2014) y raíces frágiles. Teniendo en cuenta que cada sustrato cuenta con características químicas específicas de pH y CE, cada uno se debe evaluar según las necesidades y condiciones del cultivo (Rosa & Fajardo, 2014).

Como sustrato, la cascarilla de arroz ofrece buena aireación, drenaje y un pH casi neutro, pero tiene una retención humedad muy pobre (Rosa & Fajardo, 2014). Por su parte la fibra de coco es hidrófila, ayuda a regular la temperatura y tiene muy buena retención de humedad (Rosa & Fajardo, 2014), mientras que la escoria de carbón ofrece un buen contenido de minerales pero un bajo pH, también recomienda que sea mezclada con otros sustratos manteniendo una proporción de 30:70 de escoria de carbón y otros (Monsalve Camacho, 2016).

Se pueden evaluar muchas opciones y combinaciones de sustratos con el fin de suplir las necesidades de la planta y evitar estados que generen daños y baja producción. Una mezcla entre escoria de carbón, cascarilla de arroz y fibra de coco puede ser favorable para el crecimiento de la planta teniendo en cuenta que separados, cada uno se comporta de manera diferente, pero mezclados resultarían complementarios.

Guerrero, Revelo, B, J, & Moncayo en el año 2014, encontraron un alto rendimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) usando una mezcla de sustratos de 70:30 fibra de coco y cascarilla de arroz respectivamente, explicando que la cascarilla de arroz proporciona porosidad facilitando la aireación de las raíces mientras que la fibra de coco gracias a su alta retención de humedad propició un ambiente adecuado para la toma de agua y nutrientes por parte de la planta. También Gutiérrez-Castorena et al. en 2011 encontraron que una mezcla de 75:25 de fibra de coco con Pómez o Tezontle respectivamente, garantiza una alta retención

de humedad (240% gravimétrica y 98% volumétrica) en raíces, seguido de un espacio poroso de 88%, siendo estas condiciones óptimas para el desarrollo de cultivos en general.

En esta investigación se determinan las propiedades de un sustrato mixto de fibra de coco, cascarilla de arroz y escoria de carbón, y evaluando el efecto de reducir el agua de riego sobre el crecimiento en dos variedades (Albión y Monterrey) de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) bajo ambiente protegido en macrotúneles, aportando en el conocimiento de la relación agua-suelo-plata y ambiente para el cultivo de fresa.

### MATERIALES Y METODOS

Las pruebas se realizaron en el Centro Agropecuario Marengo “CAM” ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca (4°40'51.1"N - 74°13'00.2"W) a 2516 m.s.n.m, registra una temperatura media de 14 °C y 80% de humedad relativa media. Se implementó un macrotunel con un área de 320 m<sup>2</sup>, altura máxima de 2.5 m. y con un plástico de cobertura AgrocLEAR® con alta transmisión de luz visible y buena resistencia a la degradación. Se dispusieron 12 camas con 1560 plántulas de fresa de las variedades Albión (780) y Monterrey (780) en una mezcla homogénea de sustrato con la siguiente proporción: cascarilla de arroz (25%), fibra de coco (25%) y escoria de carbón (50%).

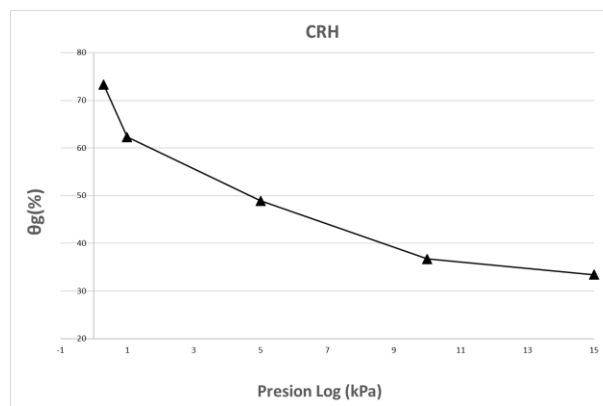


Figura 1. Curva de retención de humedad para sustrato empleado.

Para el sustrato se determinó la densidad aparente y la lámina de riego óptima (100%) a partir de la generación de la curva de retención de humedad CRH del mismo (figura 1), donde se observa un valor de capacidad de campo y punto de marchitez permanente de 62.3 % v y 36.7% volumétrico respectivamente, dejando un margen de humedad aprovechable de 25.6% el cual se suplió diariamente por medio de riego por goteo garantizando la humedad requerida por la planta durante todo el proceso. A partir de estos valores se definen los tratamientos que se muestran en la tabla 1.

*Tabla 1. Nomenclatura de tratamientos de estudio*

<b>Tratamiento</b>	<b>Variedad</b>	<b>Lámina de riego (%)</b>
T1	<i>Albión</i>	85
T2	<i>Monterey</i>	85
T3	<i>Albión</i>	100
T4	<i>Monterey</i>	100

Los datos de Humedad y temperatura, pH y conductividad Eléctrica del sustrato se realizaron 2 veces al día 3 veces a la semana por 4 meses. Cada 30 días se tomaron 3 muestras por tratamiento, en total 12 plantas para la determinación de los parámetros fisiológicos. Se empleó un equipo ProCheck® de la empresa DECAGON DEVICES, para obtener los datos de conductividad eléctrica (dS/m), temperatura (°C) y humedad del sustrato (% Volumétrico) por cama, dos veces al día. Para determinar el área foliar de la planta, se realizó el muestreo destructivo y por medio de equipo WinDIAS Leaf Área Meter System® se determinó el área foliar de cada plántula. Para el análisis de crecimiento del cultivo se evaluaron las tasas de crecimiento (Tabla 2), mientras que, para evaluar las diferencias entre las variables físicas del sustrato generadas por la variación de la lámina de riego, se empleó la prueba de comparación de medias de Student Con el fin de analizar la respuesta de la planta a partir de las tasas de crecimiento. Se empleó un diseño factorial de 2x2, en donde los factores de efectos fijos fueron las láminas de riego y los niveles en cada factor fueron las variedades de fresa. Para comparar las medias de las interacciones significativas se empleó la prueba LSD de Fisher. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistix 8.0 para Windows.

Tabla 2. Tasas de crecimiento usadas en la investigación.

Tasa	Formula	Unidades	Variabes
Índice de Área Foliar (IAF)	$IAF = \frac{AF}{As}$	adimensional	AF. Área Foliar, cm <sup>2</sup> .
Relación de Área Foliar (RAF)	$RAF = \frac{AF}{W}$	cm <sup>2</sup> /g.	As: Área superficial de la planta, cm <sup>2</sup> .
Área Foliar Especifica (AFE)	$AFE = \frac{AF}{MF}$	cm <sup>2</sup> /g.	W: peso total seco de la planta, g.
Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)	$TCR = \frac{1}{w} * \frac{dw}{dt}$	g/(g*día).	MF: masa foliar seca, g.
Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)	$TCC = \frac{1}{As} * \frac{dw}{dt}$	g/(cm <sup>2</sup> *día).	T: tiempo, días.
Tasa de Asimilación Neta (TAN)	$TAN = \frac{1}{AF} * \frac{dw}{dt}$	g/(cm <sup>2</sup> *día).	

Fuente: (Gardner, Pearce, & Mitchell, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.1. Sustrato propuesto

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la Temperatura (T°), la Conductividad Eléctrica (CE) y Humedad (H) del Sustrato propuesto en cada tratamiento. Se aprecian diferencias entre la CE de cada tratamiento, así como de H, mientras que la T se mantuvo similar en cada tratamiento, dada por el clima de desarrollo bajo el macro túnel.



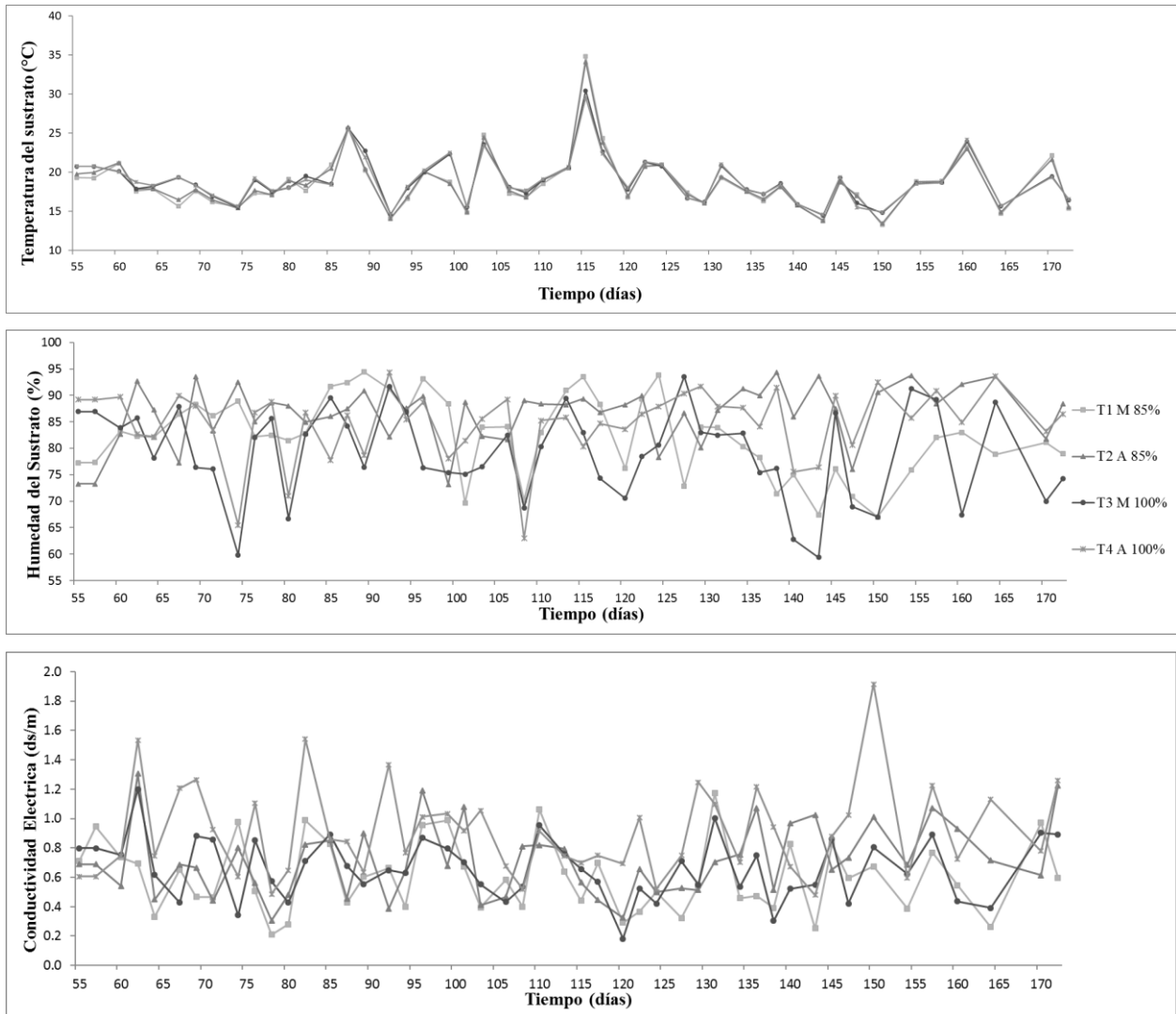


Figura2. Comportamiento T y HR y CE del sustrato en los 4 tratamientos

En la tabla 3 se presenta de manera resumida la información analizada y los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado. Se observan diferencias significativas en los valores obtenidos en las variables CE y H causadas por la variación de las láminas de riego. Sin embargo, a pesar de la variación en la Conductividad Eléctrica del sustrato por las láminas de riego, cabe decir que se encuentra dentro del rango óptimo, donde no se ve afectado el crecimiento de la planta (RedAgrícola, 2015). Por su parte las diferencias en los valores de Temperatura no son significativas, mostrando que esta variable puede

dependen en mayor proporción a factores climáticos como la radiación neta, como lo plantea Jaramillo (2002).

Tabla 3. Análisis estadístico para CE, H y T

Variable	Lamina, %	Promedio	Max	Min	D.E.	C.V. (%)	P	T
Conductividad Eléctrica, ds/m	100	0.785	1.367	0.437	0.218	27.7595	0.0001	-4.31
	85	0.657	1.074	0.258	0.200	30.4975		
Humedad, % volumétrico	100	81.9	93.0	62.7	6.802	8.3012	0.0371	2.15
	85	84.4	92.7	73.4	4.343	5.1470		
Temperatura, °C	100	19.0	30	14.5	2.985	15.7268	0.1075	-1.64
	85	18.7	34.5	13.4	3.584	19.2023		

V. Max: Valor máximo medido; V. Min: Valor mínimo medido; D.E.: Desviación estándar; C.V.: Coeficiente de variación.; P: significancia entre láminas de riego cuando  $P < 0.05$ ; T: estadístico T.

## 1.2. Respuesta de cultivo

Al desarrollar el análisis estadístico factorial para cada una de las seis tasas de crecimiento manejadas, no se encontraron diferencias significativas entre láminas de riego y variedades de fresa, mostrando que una reducción del 15% de lámina de riego es viable y no produce cambios que afecten el crecimiento de la fresa.

Tabla 4. Valores de significancia en las Tasas de crecimiento.

Tasa	P	
	Lamina	Variedad
IAF	0.4837	0.7443
RAF	0.1485	0.8349
AFE	0.7345	0.7658
TAN	0.9387	0.7700
TCC	0.5425	0.7558
TRC	0.8697	0.7610

P: significancia entre láminas de riego y variedad de fresa cuando  $P < 0.05$

Los resultados obtenidos (Tabla 4) concuerdan con los obtenidos por (Martínez Ferri et al., 2016), en donde plantean inclusive un recorte en la lámina de riego de 20 a 25 %, sin generar alteraciones significativas al fruto y evaluado en tres variedades de fresa diferentes. Aun si no se presentan diferencias significativas en las tasas de crecimiento es necesario observar el comportamiento del crecimiento a lo largo del tiempo de siembra de la planta con el fin de analizar el comportamiento que generó la variación de lámina de riego.

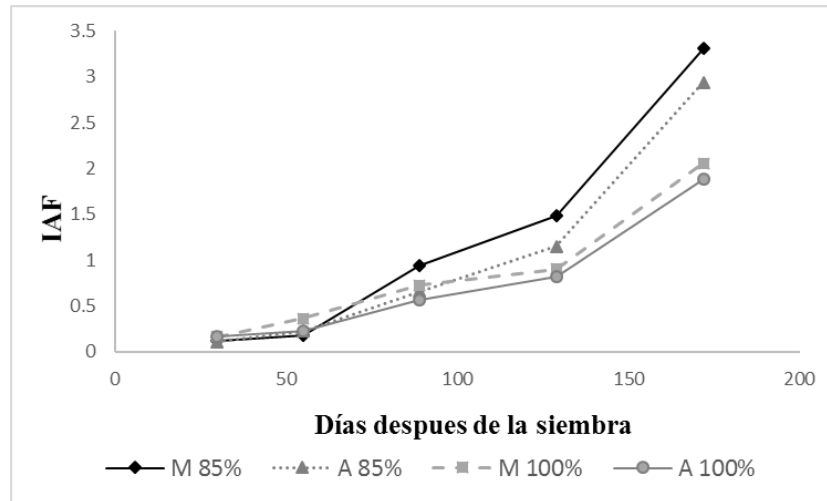


Figura 3. Índice de área foliar por tratamiento.

En la figura 2, se observa que aplicando el 85% de la lámina óptima de riego, se favorece el crecimiento de la planta. También se observa que la variedad Monterrey tiende a presentar mayor crecimiento que la variedad Albión, pero eso se puede deber a que la variedad Monterrey se caracteriza por tener bastante vigor al momento de crecer.

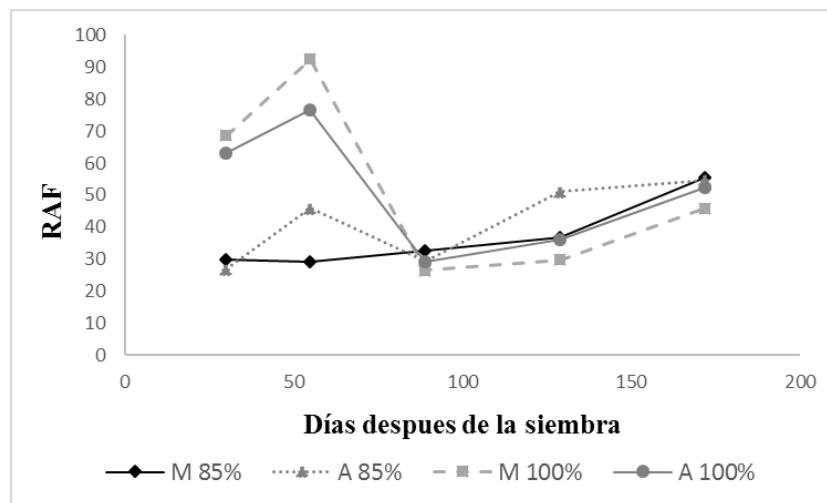


Figura 4. Relación de área foliar por tratamiento.

La RAF, cuantifica de manera aproximada la capacidad fotosintética, y se observa que las variedades con una lámina de 85% presentan un comportamiento fotosintético más ordenado

y constante con respecto al tiempo, mientras que las variedades con la lámina del 100% presentan picos fotosintéticos y una baja después de los 90 días de siembra (Figura 3).

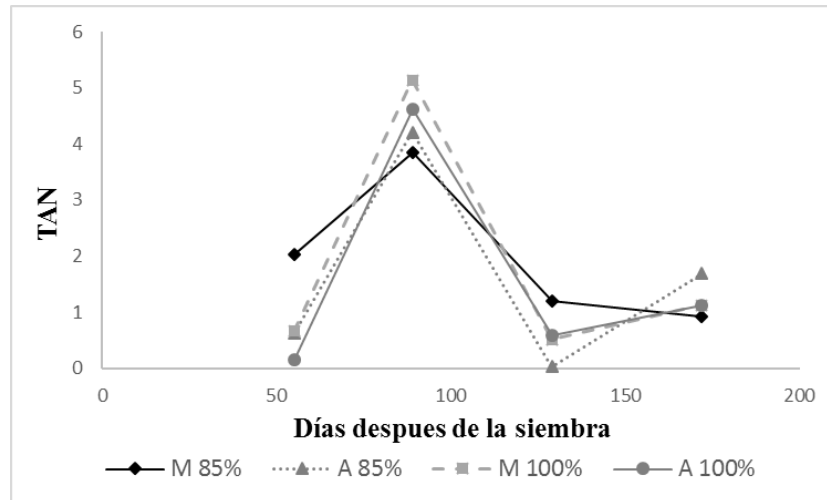


Figura 5. Tasa de asimilación neta.

Por último, la TAN es permite cuantificar la eficiencia de crecimiento de la planta (figura 4). Los 4 tratamientos presentan un comportamiento similar sin presentarse diferencias entre láminas de riego y variedades de fresa.

### CONCLUSIONES

Al manejar una reducción del 15% en la lámina de riego, se generan cambios en las características físicas del sustrato como la conductividad eléctrica y la humedad, mientras que la temperatura no presenta variaciones considerables. A pesar de dichos cambios, el crecimiento del cultivo se vio favorecido con la disminución del 15%.

Se concluye que gracias a la disminución del 15% en la lámina de riego, tanto en la variedad Albión como Monterrey se puede reducir el costo y uso de recurso hídrico bajo el sustrato empleado, generando una opción rentable, productiva y económica para el cultivo de fresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Casierra-Posada, F., & Riaño, N. G. (2006). Producción y Calidad de Fruta en Cultivares de Fresa ( *Fragaria sp.* ) Afectados por Estrés Salino. *Rev. Fac.Nal.Agr. Medellín.*, 59(2), 3527–3542.
- Deaquiz, Y. A., Álvarez-Herrera, J. G., & Pinzón-Gómez, L. P. (2014). Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria sp.*), 8(2), 192–205.
- Gardner, F., Pearce, R., & Mitchell, R. (2003). *Physiology of crop plants*. Blackwell publishing company. Iowa.
- Guerrero, E. M., Revelo, J. C., B, O. B., J, G. C., & Moncayo, C. Á. (2014). Evaluación De Sustratos En Un Cultivo De Lechuga Bajo Un Sistema Hidropónico En El Municipio De Pasto. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 31(1), 3–16. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.143101.38>
- Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Escobar, J. H., Ortiz-solorio, C. A., Sánchez, R. A., Encarnación, M., & Lara, H. (2011). Relacion Porosidad-Retencion de Humedad en Mezclas de Sustratos y su Efecto Sobre Variables Respuesta en Plántulas de Lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(3), 183–196.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia*, 619. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Martínez Ferri, E., Ariza, M. T., Carrera, M., Soria, C., Miranda, L., Prieto Rueda, A. B., ... Muriel Fernández, J. L. (2016). Evaluación de las Necesidad Hídricas de Tres Variedades de Fresa y de su Respuesta Frente a un Recorte Hídrico Moderado. In *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*. E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla. <https://doi.org/10.21151/CNRIegos.2016.A22>
- Monsalve Camacho, O. I. (2016). Caracterización química de mezclas de materiales orgánicos y minerales con uso potencial en cultivos sin suelo, 167. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/55480/>

RedAgrícola. (2015). Conductividad Eléctrica y Salinidad. Retrieved December 14, 2017,  
from <http://www.redagricola.com/conductividad-electrica-salinidad/>

Rosa, A. N. A., & Fajardo, S. (2014). Propiedades físicas y químicas de los sustratos.

## EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE ESTRATEGIAS DE AIREACIÓN NATURAL Y REFRIGERACIÓN DE ARROZ ALMACENADO BAJO LAS CONDICIONES TROPICALES DE COSTA RICA

A. Morales-Quirós<sup>1\*</sup>, C. A. Campabadal<sup>1</sup>, J. Lawrence<sup>2</sup>, B. Plumier<sup>1</sup> y D. E. Maier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal de Kansas, Ciencia e Industria de Granos, Manhattan, KS, EE. UU.

<sup>2</sup>Universidad Estatal de Kansas, Centro de Innovación de Sólidos a Granel, Salina, KS, EE. UU.

<sup>3</sup>Universidad Estatal de Iowa, Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, Ames, IA, EE. UU.

\*Autor para correspondencia: [alemorales2930@gmail.com](mailto:alemorales2930@gmail.com)

### ABSTRACT

Warm and moist conditions of some tropical climate regions make it difficult to use ambient aeration to cool stored grain, which contributes to pest problems and increases dependence on chemical control as part of grain management strategies. Grain chilling is a non-chemical alternative to cool grain stored under high risk climatic conditions. The objective of this research was to use computer simulation to evaluate the technical and economic viability of using grain chilling compared to ambient aeration strategies developed for paddy rice stored under the tropical climate of the North Pacific coast of Costa Rica. The minimum grain temperature achieved through ambient aeration at the end of the six-month simulated storage period was 30.8°C, using an aeration strategy based on a grain-ambient temperature differential greater than 10°C. Grain chilling lowered the average grain temperature from 35°C to below 15°C in 117 hours. The economic evaluation determined that the operational cost of grain chilling was 1.83 \$/ton (t) lower than ambient aeration plus fumigation. However, the initial cost made the net present cost (NPC) of the grain chiller to be 0.22 \$/t higher than the cost of ambient aeration plus fumigation over a 10-year analysis. Potential financial options were analyzed to make the grain chiller economically feasible.

**Keywords:** Paddy rice, ambient aeration, grain chilling, economic viability.



## RESUMEN

Las condiciones cálidas y húmedas de ciertas regiones tropicales hacen que la aireación natural sea insuficiente para preservar la calidad del grano almacenado, lo que incrementa los problemas de insectos y obliga a recurrir al control químico. Bajo estas condiciones, la refrigeración artificial es una alternativa amigable con el ambiente que permite preservar el grano a bajas temperaturas, lo que disminuye el riesgo de deterioro. El objetivo de este estudio fue utilizar modelos computacionales para evaluar la viabilidad técnica y económica de la refrigeración comparada con estrategias de aireación natural desarrolladas para las condiciones de almacenamiento del arroz en el Pacífico Norte de Costa Rica. Se determinó que la estrategia de aireación natural mejor adaptada consistió en un diferencial de temperatura grano-ambiente mayor a 10°C, la cual disminuyó la temperatura promedio del arroz a 30,8°C al término de seis meses de almacenamiento. Al utilizar refrigeración, la temperatura promedio del arroz disminuyó de 35°C a menos de 15°C en 117 horas. La evaluación económica determinó que los costos operacionales de la refrigeración fueron 1,83 \$/tonelada (t) menores que los costos de la aireación natural con control químico. Sin embargo, el alto costo del equipo hizo que el costo actual neto (CAN) de la refrigeración, analizado a lo largo de un periodo de 10 años, fuera 0,22 \$/t mayor que el de aireación natural con control químico. Diversas opciones financieras fueron sugeridas para hacer la refrigeración económicamente viable.

**Palabras claves:** Arroz, aireación natural, refrigeración, viabilidad económica.

## INTRODUCCIÓN

En los trópicos, debido a las condiciones ambientales cálidas y húmedas, la aireación natural de grano almacenado se utiliza principalmente para mantener una temperatura homogénea dentro del granel y en equilibrio con las condiciones climáticas promedio de la zona (Noyes y Navarro, 2002). Algunos estudios en el tema de aireación natural en los trópicos han propuesto la implementación de aireación natural durante las primeras horas de la mañana o la noche, cuando las condiciones ambientales son más adecuadas para refrescar el grano sin rehumedecerlo (Monroy y Valencia, 1978; Zeledón y Barboza, 2000). También se ha

propuesto utilizar diferenciales de temperatura entre el aire ambiente y el grano mayores a 6°C (Sinicio y Muir, 1998).

La refrigeración artificial es una opción amigable con el ambiente para la conservación de granos en climas adversos, ya que reduce la temperatura del granel por debajo de 20°C, sin importar las condiciones ambientales, lo que reduce o detiene la actividad biológica de la mayoría de los insectos que son plaga del grano almacenado (Fields, 1992). Esta tecnología ha demostrado ser efectiva para reducir la temperatura del grano a niveles menores de 17.5°C en un tiempo relativamente corto (80-300 horas), en silos entre 500 y 5000 toneladas (t), ubicados en países como Argentina, Brasil e Israel (Calderon, 1972; Lazzari et al., 2010; Roskopf y Bartosik, 2009).

La alta inversión inicial de los equipos de refrigeración y la falta de estudios económicos que complementen los estudios técnicos ha limitado la implementación de esta tecnología más ampliamente en países tropicales. Solo se tiene conocimiento de un estudio realizado en EE. UU. que ha analizado el costo-beneficio de esta inversión a largo plazo, realizado por Rulon et al. (1999). En este estudio se analizó la viabilidad económica de un prototipo de refrigeración con el sistema del Costo Actual Neto (CAN), el cual considera el costo real de una inversión a lo largo de la vida útil del equipo. Este estudio mostró que el costo del equipo de refrigeración era altamente competitivo comparado con el costo de la aireación natural más control químico.

El objetivo de la presente investigación fue utilizar modelos computacionales para evaluar la viabilidad técnica y económica de la refrigeración comparada con estrategias de aireación natural desarrolladas para las condiciones de almacenamiento de arroz en granza en el Pacífico Norte de Costa Rica.

## MATERIALES Y METODOS

### *Modelo computacional de aireación y refrigeración*

El análisis de las estrategias de aireación natural y refrigeración se realizó utilizando un modelo computacional desarrollado por Lawrence y Maier (2011), en base a las condiciones de almacenamiento de arroz en granza en la región Pacífico Norte (Guanacaste) de Costa Rica. Se recopilieron cinco años (2010-2014) de datos meteorológicos de la región durante la época de almacenamiento del arroz (Noviembre a Mayo del siguiente año). Las condiciones iniciales del arroz se determinaron en 13% de contenido de humedad (CH) y 35°C de temperatura. Se utilizaron silos de 1500 t (relación 1:1 diámetro y altura de la pared). El sistema de aireación de estos silos incluye un ventilador centrífugo de 20 HP y piso perforado falso.

Con las características del sistema de aireación antes mencionadas, se calculó el caudal específico del aire en 0,22 m<sup>3</sup>/min/t, y la presión estática en 2070 Pa (Dickinson y Morey, 2013). Según Noyes y Maier (2002), una presión estática de esta magnitud causaría un aumento de la temperatura del aire de aproximadamente 5°C en el plenum debido a la transferencia de energía mecánica del ventilador en calor. Este aumento de temperatura también reduce la HR.

Basado en el análisis previo de las condiciones ambientales de la región, el tiempo necesario para ventilar la masa de granos y el efecto de la presión estática, se propusieron las siguientes estrategias:

1. Airear el grano cuando la temperatura ambiente  $\leq 24^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa de equilibrio (HRE) en el plenum es  $< 70\%$ .
2. Airear el grano de 6:00 a.m. a 8:00 a.m. y de 5:00 p.m. a 7:00 p.m.
3. Airear el grano de 5:00 a.m. a 9:00 a.m. y de 5:00 p.m. a 9:00 p.m.
4. Airear el grano cuando la temperatura ambiente es 10°C menor que la temperatura del grano en la parte superior de la masa de granos.

La estrategia de refrigeración se desarrolló basada en pruebas de campo con un equipo de refrigeración utilizado para enfriar 1350 t de trigo en Kansas, EE. UU. durante el verano del 2015 y 2016 (Morales-Quiros, 2017). Según el fabricante, este equipo tiene la capacidad de enfriar de 100 a 170 t por 24 horas de operación continua en silos de hasta 1800 t (Coolseed, 2016). El modelo computacional se programó para iniciar la refrigeración cuando el arroz ingresara al silo y que funcionara hasta que la capa superior de la masa de granos alcanzara una temperatura  $\leq 15^{\circ}\text{C}$ .

### ***Modelo económico CAN***

El costo de la estrategia de aireación natural con los mejores resultados de horas de aireación, CH y temperatura final del grano, se comparó contra el costo de la estrategia de refrigeración, basado en la metodología del CAN, desarrollada por Rulon et al. (1999). El CAN calcula el costo neto de una inversión durante el periodo de vida útil (10 años para el equipo de refrigeración), utilizando un porcentaje de descuento de futuros flujos de caja, basado en factores como la tasa de interés pasiva, el impuesto sobre la renta, porcentaje de deuda del negocio y la tasa de retorno (Rulon et al., 1999). Para este cálculo, se utilizaron datos reales de Costa Rica proporcionados por entidades financieras.

El CAN de la estrategia de aireación natural se calculó basado en el requerimiento energético de los ventiladores, horas laborales para operar los ventiladores, costo de realizar análisis periódicos de CH y las mermas debido a la aireación. Además, debido a que las condiciones ambientales no permiten el control únicamente con aireación natural, este cálculo incluyó los costos de fumigaciones, aplicaciones de insecticidas, equipo de seguridad, horas laborales para aplicaciones, entre otros. Estos datos fueron recopilados de industrias arroceras de todo el país. Este cálculo se basó en una empresa arroceras con seis silos de 1500 t de arroz en granza almacenado por seis meses.

El CAN de la estrategia de refrigeración se calculó basado en factores como precio de compra del equipo (\$74700 según datos del fabricante), el requerimiento eléctrico, instalación y mantenimiento, análisis periódico de CH y las mermas. También se analizaron alternativas de financiamiento del equipo como: alquiler del equipo, mejora de la capacidad del equipo y

posibilidad de vender el arroz refrigerado como producto de valor agregado. Estos datos se recopilieron de entidades financieras, empresas arroceras nacionales y experiencias de las pruebas de campo. Los cálculos de esta estrategia se basaron en el mismo tipo de empresa arroceras mencionado para la aireación natural.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del modelo de aireación demostraron que es posible utilizar baja temperatura ambiental para airear, a pesar de la alta HR, ya que el aumento de temperatura de aproximadamente 5°C en el plenum reduce la HR aproximadamente 20%, por lo que es posible utilizar aire ambiente con HR de hasta 90%, ya que en el plenum esta HR disminuye a 70% aproximadamente. Observaciones similares fueron realizadas por Zeledón y Barboza (2000).

La primera estrategia de aireación natural (Temp. ambiente  $\leq 24^{\circ}\text{C}$ , HR plenum  $< 70\%$ ) solo redujo un par de grados la temperatura del granel ( $35^{\circ}\text{C}$  a  $33^{\circ}\text{C}$ ), sin cambios notables del CH.

La segunda y tercera estrategias de aireación natural (2 y 4 horas temprano en la mañana y tarde), mostraron resultados adversos, ya que la temperatura del granel no disminuyó y se produjeron mermas debido al tiempo excesivo de aireación. Por esta razón, se redujo el periodo de aireación únicamente entre noviembre y enero del próximo año, meses que registraron las menores temperaturas mínimas, lo que ayudó a disminuir la temperatura del arroz a  $33^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, sin afectar el CH. Esta modificación redujo las horas de aireación de más de 700 a 312 y 624 para la segunda y tercera estrategia, respectivamente.

La cuarta estrategia (diferencial de temp. ambiente-grano  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ) fue la que mostró una mayor reducción de la temperatura ( $30,8^{\circ}\text{C}$ ) al final de los seis meses de almacenamiento, con un aumento mínimo del CH (13,1%) y el menor número de horas de aireación ( $214 \pm 43$ ) (Figura 1).

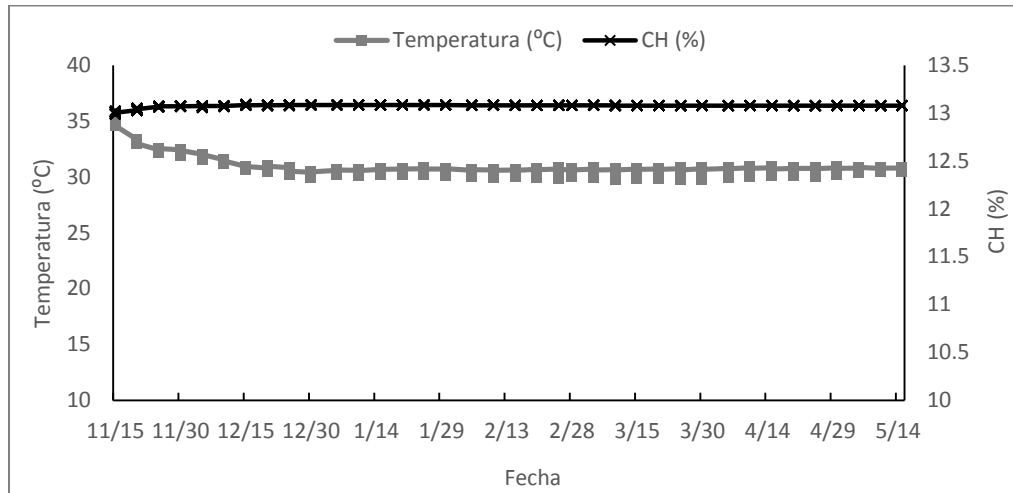
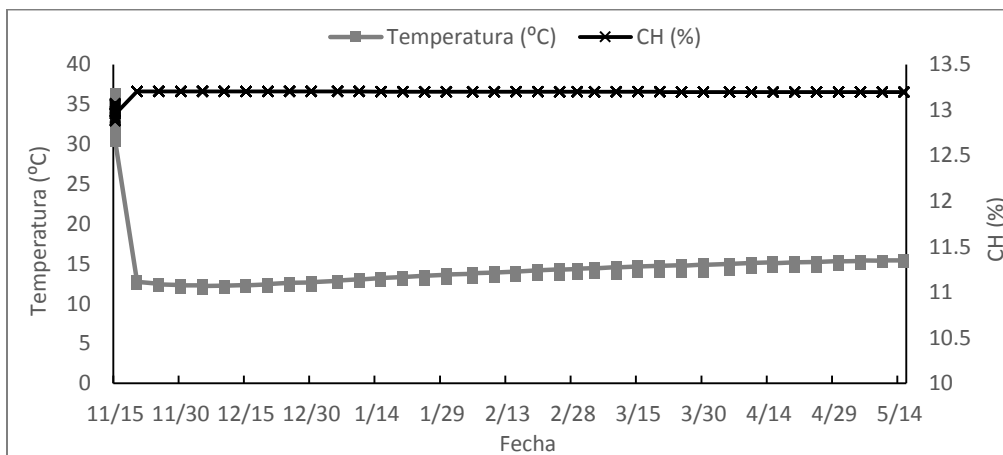


Figura 1. Promedio de cinco años de temperatura y contenido de humedad (CH) promedio de arroz en granza almacenado de Nov. 15 a Mayo 15 en Guanacaste, Costa Rica y aireado utilizando la estrategia 4.

La simulación de la estrategia de refrigeración mostró que la temperatura del grano disminuyó de 35°C a menos de 15°C en 117 horas, y se mantuvo por debajo de 15,5°C durante los seis meses de almacenamiento (Figura 2). Preservar el arroz a esta temperatura mostró ser efectivo para controlar *R. dominica* y *Sitophilus* spp. por 60 días en arroz almacenado en Brasil (Lazzari et al., 2006). No obstante, esta estrategia aumentó el CH del arroz a 13,2%.



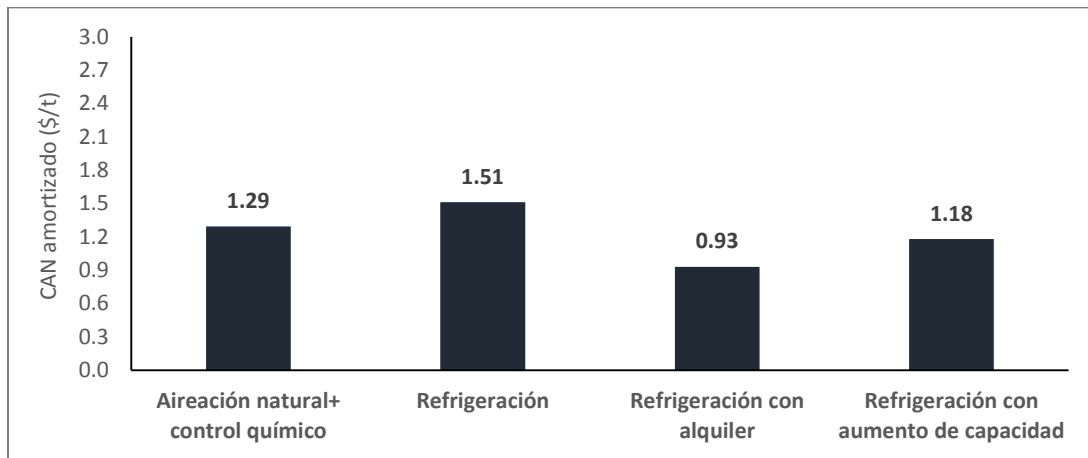
*Figura 2. Promedio de cinco años de temperatura y contenido de humedad (CH) promedio de arroz en granza almacenado de Nov. 15 a Mayo 15 en Guanacaste, Costa Rica y aireado con refrigeración.*

La cuarta estrategia de aireación natural fue la que generó mayor ahorro de energía con mejores resultados de temperatura, sin embargo, el costo operacional anual de esta estrategia fue relativamente elevado (2,36 \$/t) debido al costo del control químico. Por otro lado, el costo anual para operar la estrategia de refrigeración fue de solo 0,53 \$/t, debido a que se ahorra el costo de la aplicación de químicos cada año. Observaciones similares fueron realizadas por Rulon et al. (1999).

Aunque la refrigeración redujo los costos operacionales, el precio de \$74700 por el equipo hace que el CAN de la estrategia de refrigeración aumente y que la amortización anual sea de 1,51 \$/t, mientras la amortización del CAN de aplicación de agroquímicos de la estrategia de aireación natural es de 1,29 \$/t (Figura 3).

Para reducir el CAN de la refrigeración se observó que la opción de alquilar el equipo por un costo menor de \$11000 anuales por un periodo de 10 años plazo, reduciría la amortización del CAN a 0,93 \$/t, aunque esto aumentaría los costos operacionales anuales, ya que el pago del alquiler se adicionaría a los costos operacionales y estos aumentarían de 0,53 \$/t a 1,77 \$/t, lo cual seguiría siendo menor que los costos operacionales de la estrategia de aireación natural. Otra opción viable es aumentar el número de toneladas o silos aplicados con

refrigeración de seis silos a ocho de 1500 t, lo que diluye el costo por tonelada y reduce la amortización del CAN de 1,51 \$/t a 1,18 \$/t (Figura 3).



*Figura 3. Amortización del Costo Actual Neto (CAN) de la estrategia 4 de aireación natural, la estrategia de refrigeración y las opciones de financiamiento.*

Una tercera opción para reducir el CAN es comercializar el arroz refrigerado con un valor agregado, debido a que es libre de agroquímicos, entre \$0,50 y \$1,00 adicional por tonelada, lo que haría el CAN de la refrigeración menor de 1,29 \$/t. Esto representaría un aumento de solo \$0,003 o ₡1,49 por bolsa de 1,8 kg de arroz pilado.

### CONCLUSIONES

La estrategia de aireación natural basada en un diferencial de temperatura mayor de 10°C entre el arroz almacenado y el ambiente fue la que mostró mejores resultados de temperatura, contenido de humedad y horas de aireación, aunque no se logró reducir la temperatura del granel a menos de 30,8°C luego de seis meses de almacenamiento. Con la estrategia de refrigeración se redujo la temperatura del granel por debajo de 15,5°C en menos de cinco días y se mantuvo esta temperatura durante el resto del periodo de almacenamiento, lo que potencialmente reduciría el riesgo de deterioro y reduciría la necesidad de control químico.



La estrategia de refrigeración redujo los costos operacionales de la empresa arrocera, sin embargo, el alto costo inicial del equipo de refrigeración hizo que el Costo Actual Neto de esta estrategia fuera mayor que el de la aireación natural con control químico. El alquiler del equipo de refrigeración a un precio menor de \$11000 a 10 años plazo, aplicar la refrigeración en un mínimo de ocho silos de 1500 t y adicionar un valor agregado de venta entre \$0,50 y \$1,00 al arroz refrigerado, son opciones que reducen el Costo Actual Neto del equipo de refrigeración y hacen esta opción económicamente viable para la empresa arrocera en Guanacaste, Costa Rica.

### REFERENCIAS

- Calderon, M. (1972). Aeration of grain - benefits and limitations. *EPPO Bulletin*, 2(6), 83-94.
- Coolseed. (2016). *Especificaciones técnicas- GCH 20*. Santa Tereza do Oeste, Brazil: Coolseed-Tecnologias de Pos-colheita. Retrieved from [www.coolseed.com.br/images/GCH-20.pdf](http://www.coolseed.com.br/images/GCH-20.pdf)
- Dickinson, L., & Morey, V. (2013). *FANS for the web*. St. Paul, MN: University of Minnesota.
- Fields, P. G. (1992). The control of stored- product insects and mites with extreme temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, 28(2), 89-118.
- Lawrence, J., & Maier, D. E. (2011). Aeration strategy simulations for wheat storage in the sub- tropical region of north India. *Transactions of the ASABE*, 54(4), 1395-1405.
- Lazzari, F., Lazzari, S., & Lazzari, F. N. (2010). Environmentally friendly technologies to maintain stored paddy rice quality. *10<sup>th</sup> Int. Working Conf. on Stored Prod. Prot.*, 710-715.

- Lazzari, S. M. N., Karkle, A. F., & Lazzari, F. A. (2006). Resfriamiento artificial para o controle de Coleoptera em arroz armazenado em silo metálico. *Revista Brasileira de Entomologia*, 50(2), 293-296. Retrieved from [www.scielo.br/scielo.php](http://www.scielo.br/scielo.php)
- Monroy, J. F., & Valencia, A. (1978). Efecto de la aireación nocturna en el almacenamiento del maíz. *Revista Del Instituto Colombiano Agropecuario*, 13, 603-616.
- Morales-Quiros. A. (2017). Evaluation of ambient and chilled aeration strategies to maintain the quality of stored grain in tropical climates and during summer in temperate climates. MS Thesis. Manhattan, KS: Kansas State University, Dep. of Grain Science & Industry.
- Noyes, R. T., & Maier, D. E. (2002). Aeration and grain quality management systems engineering. *Facility Design Conference of the GEAPS*, 1-57.
- Noyes, R., & Navarro, S. (2002). Operating aeration systems. In R. Noyes, & S. Navarro (Eds.), *The mechanics and physics of modern grain aeration management* (pp. 315-397). Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Recio, M. (1999). Aireación bajo condiciones ambientales de alta humedad relativa y baja temperatura para la conservación de maíz amarillo almacenado. Licentiate thesis. University of Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Roskopf, R., & Bartosik, R. (2009). Refrigeración artificial en silos. Retrieved from [www.engormix.com/MA-agricultura/maiz/articulos/temperatura-en-silost2672/417p0.htm](http://www.engormix.com/MA-agricultura/maiz/articulos/temperatura-en-silost2672/417p0.htm)
- Rulon, R. A., Maier, D. E., & Boehlje, M. D. (1999). A post-harvest economic model to evaluate grain chilling as an IPM technology. *J. Stored Prod. Res.*, 35(4), 369-383.
- Sinicio, R., & Muir, W. E. (1998). Aeration strategies for preventing spoilage of wheat stored in tropical and subtropical climates. *Appl. Eng. in Agric.*, 14(5), 517-527.

Zeledón, M., & Barboza, R. (2000). Temperature and RH inside the plenum of a commercial silo when empty, full and during early morning aeration periods. Unpublished manusc.

## **APLICACIÓN DE LA RIZIPISCICULTURA EN EL SISTEMA PRODUCTIVO AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE AGUAZUL (CASANARE).**

**Luz Ángela León Mesa<sup>1</sup>, Andrea Milena León Mesa<sup>2</sup>, Jorge Andrés Ardila Cuevas<sup>3</sup>, Wilmer Leonardo Velásquez Vargas<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Ingeniera Agrícola, Fundación Universitaria de San Gil, UNISANGIL. Colombia.  
[leon-angela@hotmail.com](mailto:leon-angela@hotmail.com) (+57) 3138353562

<sup>2</sup>Ingeniera Ambiental, UNISANGIL– Colombia. [leon-andrea16@hotmail.com](mailto:leon-andrea16@hotmail.com)  
(+57)3012610296

<sup>3</sup>Ingeniero Agrónomo, Asesor en Investigación Agrícola en UNISANGIL. Colombia.  
[jorgeardila86@gmail.com](mailto:jorgeardila86@gmail.com) (+57)3176575369

<sup>4</sup>Ingeniero Agrícola, Docente de Ingeniería Agrícola UNISANGIL. Colombia.  
[wvelasquez@unisangil.edu.co](mailto:wvelasquez@unisangil.edu.co) (+57)3208758193

### **RESUMEN**

Se estableció un sistema de Rizipiscicultura en un área de 2.500 metros cuadrados de la siguiente forma: para el arroz una densidad de 120 kilogramos por hectárea y para la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) 1.000 individuos jóvenes. Dicho sistema requirió de la construcción de un estanque de 105 metros cuadrados por 1,20 metros de profundidad con el fin de ofrecer un espacio alterno donde los peces pudiesen alojarse cuando el cultivo de arroz requiriera drenar la lámina de agua. Inicialmente, los alevines fueron liberados en el estanque donde se desarrollaron los primeros 20 días mientras alcanzaban un tamaño que les permitiera completar su ciclo de vida en el ecosistema del arroz. Una vez incorporados al arrozal, el manejo del cultivo propendió por la conservación de las especies mediante prácticas de manejo integrado apuntando a la disminución de aplicaciones químicas, fuentes complementarias y alternativas de nutrientes, uso de controladores biológicos de insectos entre otras. En la comparación de la asociación de ambas especies y un cultivo de arroz tradicional, la Rizipiscicultura presentó incremento de 0,38% en el carbono orgánico del suelo respecto a un 0,16% del cultivo de arroz tradicional en condiciones de ejecución del ensayo. La Rizipiscicultura obtuvo una producción de 1.328 kilogramos de paddy verde, representando una producción de 5.312 kilogramos por hectárea y 153,9 kilogramos de pez desvicerado, se registró pérdida del 42,2% de animales debido principalmente a la acción de depredadores naturales, no hubo evidencias de animales muertos en el cultivo.

**Palabras claves** – Rizipiscicultura, Rizicultura, piscicultura, Materia orgánica, producción agrícola.

## INTRODUCCION

En el país, según la encuesta nacional realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, la mayor área sembrada de arroz se registró en el departamento de Casanare con 112.857 hectáreas, representando el 36,9% del área total nacional. “En cuanto a su producción se registró un aumento del 41,1% correspondiente a 23.179 toneladas más, respecto al mismo periodo del año 2014” (Dane, 2015), por lo cual se constituye en un cultivo de gran importancia económica en la zona, sin embargo, el intenso monocultivo, las prácticas de manejo inadecuadas, la aplicación irracional de agroquímicos y la consecuente degradación de los recursos naturales, sumado al creciente cambio en los patrones climáticos han hecho que la rentabilidad del productor disminuya al afectar paulatinamente sus producciones e incrementar sus costos.



**Figura 1: Sistema de Rizipiscicultura a gran escala**

Fuente: <http://www.aquaculturebrasil.com>

De esta forma, y en búsqueda de alternativas que compensen las pérdidas de producción, la asociación de arroz y peces (Rizipiscicultura) es una estrategia que diversifica la producción y mediante un manejo apropiado aumenta la rentabilidad del sistema, ofreciendo al agricultor la oportunidad de producir arroz y peces simultáneamente en una sola área (La Rizipiscicultura es un sistema que integra el cultivo de arroz y la cría de peces). Este sistema de arroz y peces se conoce desde hace más de 2.000 años en la India y se desarrolló por mucho tiempo en el sudoeste asiático. Este sistema de producción se ha considerado durante mucho tiempo como una alternativa para disminuir la desnutrición y la pobreza en las

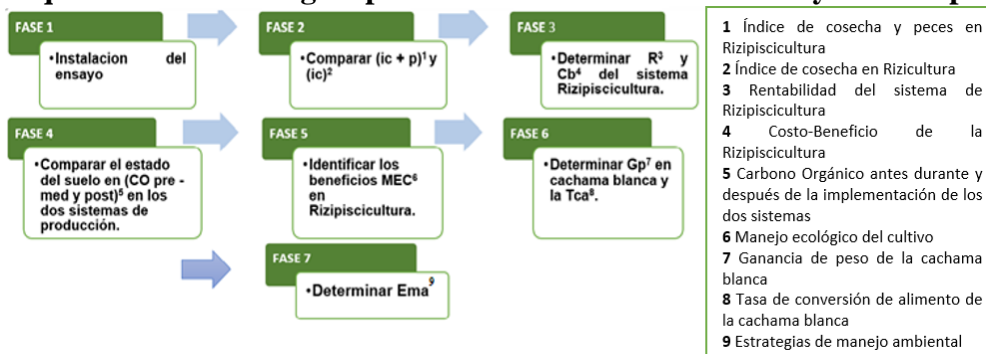
regiones en desarrollo. (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2010). En Colombia se han realizado ensayos de implementación de la Rizipiscicultura como es el caso de Montería en el año 2007, través del programa de Producción Más Limpia y Mercados Verdes, (Aquahoy, 2007). Por otro lado, en el año 2003 en ese mismo departamento en Córdoba en límites con Antioquia, un agricultor con más de 20 años de experiencia en el cultivo del arroz, decidió apostarle a la Rizipiscicultura, con resultados prometedores tanto en los rendimientos de arroz como de peces. (Juan Carlos Domínguez, 2004).

## METODOLOGIA

### Localización

Siguiendo la metodología descrita en el esquema 1, el proyecto se realizó en la finca “EL GABAN” de la vereda El Guáimaro del municipio de Aguazul, departamento de Casanare, ubicado sobre la cordillera oriental, con precipitación promedio de 2.933,4 mm, 27°C de temperatura y a 290 msnm. Cuenta con zonas de alta pendiente y zonas planas, tres principales afluentes, los ríos Cusiana, Unete y Charte.

### Esquema 1: Metodología aplicada en la realización del ensayo en campo



### Fuente: Autores

La metodología se llevó a cabo en 7 fases donde se desarrolló la evaluación de 6 variables como el índice de cosecha de arroz, rentabilidad, carbono orgánico del suelo antes, durante y después de la implementación de los dos sistemas, beneficios del manejo ecológico del cultivo, ganancia de peso animal y estrategias de manejo ambiental.

### **FASE N° 1. Instalación del ensayo**

La preparación del terreno se realizó con dos pases de rastra y un pase de rastrillo, la adecuación del terreno bajo el sistema de piscinas inundadas se realizó con caballones en contorno de 30 centímetros de altura con el fin de asegurar una lámina de agua adecuada para los peces y zanjas de 20 centímetros de profundidad para permitir la movilidad del pez. Con el fin de brindar refugio a los peces cuando las actividades de cultivo requirieran el desagüe del lote, se elaboró un depósito alterno de 105 m<sup>2</sup> el cual resguardó a los peces durante los eventos de fertilización del cultivo. Se realiza la siembra de arroz al voleo en el lote con Rizicultura y Rizipiscicultura con la variedad Fedearroz 2.000 a una densidad de 150 y 120 kilogramos por hectárea respectivamente. En el lote bajo la práctica de Rizipiscicultura se ingresaron 1.000 alevines de la especie cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), los cuales fueron liberados en el depósito 16 días luego de la germinación del cultivo de arroz e ingresados a los 20 días después, dando espacio a un periodo de adaptación al medio. El manejo del lote bajo Rizipiscicultura propendió por la conservación de los peces, para ello se utilizaron prácticas de manejo integrado que apuntaron a la reducción de aplicaciones de productos de síntesis química, el uso de fuentes complementarias y alternativas de nutrientes, implementación de controladores biológicos (*Trichogramma spp*) como estrategia de control de plagas, entre otras. Con el fin de determinar la ganancia de peso de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y la tasa de conversión de alimento, se llevó a cabo un control de crecimiento del pez mediante un registro semanal del peso de 10 animales. Al culminar el ciclo vegetativo del cultivo del arroz (104 días después de emergencia) el lote fue desaguado para permitir su cosecha, lo cual condujo a los peces hacia el depósito, quienes allí fueron cosechados 48 días después de la cosecha de arroz.

### **RESULTADOS**

A efectos comparativos, los datos de producción y costos de la Rizipiscicultura y la Rizicultura se llevaron a hectárea (10.000 m<sup>2</sup>) como unidad de referencia.

#### **FASE N°2. Comparar (ic+ p) y (ic)**

El sistema de Rizipiscicultura obtuvo un rendimiento de 5.312,5 kilogramos/hectárea de paddy verde. La producción de peces fue de 422 cachamas blancas de los 1.000 alevines



sembrados, equivalentes a 153,6 kilogramos de carne. El sistema de Rizicultura obtuvo una producción de arroz paddy verde de 5.187,5 kilogramos.

### Cuadro N° 1. Establecimiento del cultivo y Productividad de los dos sistemas.

RIZIPISCICULTURA			RIZICULTURA		
Área del cultivo (m <sup>2</sup> )	10.000		Área del cultivo (m <sup>2</sup> )	10.000	
Densidad de siembra (kg/ha)	120		Densidad de siembra (kg/ha)	150	
Número de Peces	1.000		Costo de producción COP	\$3.041.115	
Costo de producción COP	\$4.153.034				

RIZIPISCICULTURA			RIZICULTURA				
CULTIVO	PRODUCCION	VALOR VENTA	CULTIVO	PRODUCCION	VALOR VENTA (COP)		
Arroz	85 bultos	5.312 kg	\$ 7.224.320	Arroz	83 bultos	5.187 kg	\$ 7.054.320
Peces	422 cachamas	153,9 kg	\$ 1.385.100				
<b>Total</b>			<b>\$8.609.420</b>	<b>Total</b>		<b>\$ 7.054.320</b>	

Fuente: Autores.

### FASE N°3. Determinar R y Cb del sistema Rizipiscicultura.

El costo total del sistema de Rizipiscicultura es de \$4'153.034. En Rizicultura se generaron costos de producción de \$3'041.115. El concentrado suministrado a los peces fue Tilapia, su presentación en cuanto al porcentaje de proteína es de 45%, 38%, 30% y 24%. El costo total del concentrado fue \$589.680 correspondientes a 245,04 kilogramos de alimento.

La Rizipiscicultura es un sistema que muestra una tasa interna de retorno favorable de 23,78% por lo cual se hace rentable y es una alternativa ideal en la región.



Figura N° 2. Recuperación de la Inversión.

Fuente: Autores.



En la gráfica se puede observar que el tiempo de recuperación de la inversión es de 2,99 años aproximadamente si la inversión se mantiene constante. Si el agricultor deseara obtener una ganancia mayor, deberá reducir costos como la elaboración de los espantapájaros, evitando dañarlos. También se deberá tener en cuenta que el deposito solo se elaborará una sola vez, por lo tanto, ese costo se elimina en las replicaciones. Otra estrategia es la reducción costos derivados del concentrado para los peces, suministrando alimentos alternos que le aporten una buena nutrición al animal como la harina de arroz, restos de fruta, entre otras.

#### FASE N°4. Comparar el estado del suelo en (CO pre – med y post) en los dos sistemas de producción.

Se tomaron 6 muestras de suelo, 3 para Rizipiscicultura y 3 para Rizicultura, se enviaron al laboratorio en donde por medio de la técnica walkley black se analizó el contenido de carbono orgánico. En la comparación de los dos sistemas de producción, la Rizipiscicultura presentó un incremento de 0,38% respecto a un 0,16% del cultivo de arroz tradicional, sin embargo, se requieren de más estudios para determinar el efecto de los peces sobre esta variable.

#### FASE N°5. Identificar los beneficios MEC en Rizipiscicultura.

MATRIZ DE IMPACTOS									
FACTORES AMBIENTALES	RIZIPISCICULTURA								
	MEDIO AFECTADO			CARACTERÍSTICAS DE LOS IMPACTOS					
	FACTORES	EFFECTOS	C	P	D	E	M	Ca	Importancia Ambiental
FISICO	SUELO	Fertilización	+	1	1	0,4	1	5,8	Media
		Incremento de la capa organica	+	1	1	0,8	1	8,6	Muy alta
		Remoción del suelo	-	0,3	0,4	0,2	0,4	0,5	Muy baja
	AGUA	Uso de Agroquimicos	-	0,1	0,4	0,4	0,8	0,3	Muy baja
		Uso del recurso hidrico	-	0,7	0,7	0,4	1	3,4	Baja
	FAUNA	Alteracion de paisaje natural	-	1	0,7	0,7	0,7	5,5	Media
SOCIOECONOMICO	SOCIAL	Generacion de empleo	+	1	1	1	1	10	Muy alta
	ECONOMICO	Rentabilidad	+	1	1	1	1	10	Muy alta

a	7
b	3

CRITERIO	RANGO	VALOR
Clase	Positivo(+) Negativo(-)	
Presencia	Cierta	1,0
	Muy probable	0,7
	Probable	0,3
	Poco probable	0,1
	No probable	0,0
Duración	Muy larga: > de 10 años	1,0
	Larga: > de 7 años	0,7 < 1,0
	Media: > de 4 años	0,4 < 0,7
	Corta: > de 1 año	0,1 < 0,4
Evolución	Muy corta: < de 1 año	0,0 < 0,1
	Muy rápida: < de 1 mes	0,8 < 1,0
	Rápida: < de 12 meses	0,6 < 0,8
	Media: < de 18 meses	0,4 < 0,6
	Lenta: < de 24 meses	0,2 < 0,4
Magnitud	Muy lenta: > de 24 meses	0,0 < 0,2
	Muy alta: Mr > del 80%	0,8 < 1,0
	Alta: Mr entre 60 y 80 %	0,6 < 0,8
	Media: Mr entre 40 y 60%	0,4 < 0,6
Importancia ambiental	Baja: Mr entre 20 y 40 %	0,2 < 0,4
	Muy baja: Mr < del 20%	0,0 < 0,2
	Muy alta: Ca entre 8,0 y 10,0	
	Alta: Ca entre 6,0 y 8,0	
Contantes de ponderación	Media: Ca entre 4,0 y 6,0	
	Baja: Ca entre 2,0 y 4,0	
	Muy baja: Ca entre 0,0 y 2,0	

Figura N° 3. Matriz de evaluación de impactos ambientales - Criterios de evaluación.

Fuente: Autores - Manual de evaluación de impactos ambientales de Colombia, 1998.

Se determinaron beneficios económicos debido a que el agricultor contó con un ingreso adicional con la venta de los peces. Esto aumenta la economía del mismo representada en

dinero o en alimento. Se reducen los costos de producción debido a que la presencia de especies disminuyó el uso de fertilizantes y agroquímicos. De igual forma se identificaron beneficios ambientales entre los cuales está la reducción de químicos aplicados al arroz, presencia de especies (peces) y aumento de materia orgánica generada de las heces de los peces.

#### **FASE N°6. Determinar Gp y Tca En cachama blanca (*Piaractus brachypomus*).**

Para llevar un control y seguimiento del peso de la cachama blanca, se realizó registro semanal del peso de los animales durante 4 meses, se realizaron 16 muestreos donde se pesaron 10 peces en cada uno de ellos, observando un aumento de peso del 21,31% semanal. Los peces se cosecharon con un peso promedio de 364,90 gramos.

#### **FASE N°7. Determinar Ema en el sistema Rizipiscicultura.**

Implementar la siembra de árboles nativos sobre el muro que rodea el depósito, con el objetivo de reducir la erosión y pérdida de suelo por escorrentía, además de brindar frescura a los peces cuando éstos se encuentren dentro del depósito evitando que el agua se caliente demasiado.

Es posible utilizar fertilizantes orgánicos como la gallinaza, bovinaza, humus, compost, entre otros. Con el objetivo de restituir materia orgánica al suelo y minimizar la pérdida de nutrientes naturales del mismo.

Implementación de controladores biológicos para insectos. La utilización de *Trichogramma e.* como controlador biológico de huevos del insecto plaga denominado barrenador del tallo o *Diatrea Saccharalis* u otros lepidópteros como el enrollador de la hoja *Salvia Sp.* Lo cual resulta ser más efectivo para la reducción de dichos insectos plaga.

### **DISCUSIONES**

Debido a que la dinámica del Carbono Orgánico del Suelo (COS) es un proceso lento, es poco probable que se haya generado un aumento significativo en corto plazo, se deben realizar evaluaciones durante periodos de tiempo más largos para poder obtener datos

confiables sobre este aspecto. Según reportes de la FAO, “En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sola una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año)” (FAO, 2002).

Se cosecharon 422 peces de los 1.000 alevinos sembrados de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), se registró una pérdida del 42,2% de animales, pero no se encontró evidencias de que los peces fueran afectados por los manejos del cultivo, gran parte de las pérdidas pudieron deberse a la acción de predadores naturales presentes en el medio como la Garza real (*Ardea alba*) y la babilla (*Caimán crocodilus*).

El índice de cosecha para la variedad Fedearroz 2.000 es en general de 5.312 kilogramos de arroz, en el proyecto se obtuvo un índice de cosecha de 5.132 kilogramos de paddy verde, esta variable puede llegar a ser extrapolada mientras se mantenga en condiciones agroclimáticas como temperatura, suelo, clima, pH, entre otros.

### CONCLUSIONES

En la comparación de la asociación de ambas especies y un cultivo de arroz tradicional, la Rizipiscicultura presentó un incremento de 0,38% en el carbono orgánico del suelo respecto a un 0,16% del cultivo de arroz tradicional.

Con el uso de las estrategias ambientales como el uso de los fertilizantes orgánicos y controladores biológicos se logró reducir los costos de producción ya que estas prácticas resultan ser más económicas.

La ganancia de peso animal permitió en un periodo similar al del cultivo del arroz comercializarse según los requerimientos del mercado. Se observó un aumento promedio de peso semanal de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) del 21,31%. Los peces se cosecharon con un peso promedio de 364,90 gramos.

## BIBLIOGRAFIA

Aquahoy. (2007). Colombia termina proyecto de Rizipiscicultura. Portal de información en acuicultura. Recuperado de <http://www.aquahoy.com/156-uncategorised/1883-colombia-termina-proyecto-de-rizipiscicultura>

Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT; Fondo Latinoamericano para el Arroz Riego, FLAR; Universidad de Córdoba. (2010). Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. [Versión PDF documento] Tomo I. Página 118. Recuperado de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/2010\\_Degiovanni-Produccion\\_eco-eficiente\\_del\\_arroz.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2015). Área sembrada de arroz mecanizado. Comunicado de prensa. Recuperado de [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/cp\\_arroz\\_Isem15.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/cp_arroz_Isem15.pdf)

Domínguez, Juan Carlos. (31 de enero de 2004). Arroz y Pescado, Todo en uno. El Tiempo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1529742>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2016). Departamento de Pesca y Acuicultura. Visión general del sector acuícola nacional. Recuperado de [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_colombia/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>

## **DETERMINACIÓN DE FIRMEZA EN AGRAZ (*Vaccinium meridionale*) DURANTE SU ALMACENAMIENTO CON ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO**

### **DETERMINATION OF FIRMNESS OF AGRAZ (*Vaccinium meridionale*) DURING ITS STORAGE PERIOD WITH NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY**

**PATARROYO, K. J. L<sup>1</sup>; FORERO, N.M.C<sup>1</sup>; SILVA, A. F. D<sup>1</sup>; SANCHEZ-SÁENZ, C.M.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, [kjpatarroyol@unal.edu.co](mailto:kjpatarroyol@unal.edu.co), [nmforeroc@unal.edu.co](mailto:nmforeroc@unal.edu.co), [afsilvad@unal.edu.co](mailto:afsilvad@unal.edu.co), [cmsanchezs@unal.edu.co](mailto:cmsanchezs@unal.edu.co)) Tel: +57 1 3165000 ext. 16624, Colombia.

#### **RESUMEN**

En los últimos años ha aumentado el interés en el consumo de agraz, fruto que se produce entre los 2000 y 2900 msnm y que presenta propiedades antioxidantes, que lo hacen atractivo en mercados nacionales e internacionales. Una de las principales características para determinar la calidad del fruto es la firmeza y como ésta se ve afectada durante el almacenamiento, actualmente se utilizan pruebas destructivas para su evaluación; Sin embargo, la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) es un método no destructivo que permite determinar las características externas e internas de los productos agrícolas. El objetivo de este trabajo fue la elaboración de un modelo de predicción de firmeza en agraz con espectroscopía NIR. El agraz se recolectó en estado 3 de madurez, se seleccionó de acuerdo a su estado fitosanitario y se almacenó a temperatura ambiente por 19 días durante los cuales, se monitoreó el cambio de firmeza. Se emplearon 502 muestras en el set de calibración y 161 muestras para el set de validación, para la elaboración de los modelos se usó la regresión de mínimos cuadrados parciales. Para evaluar los modelos se establecieron como criterios el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error cuadrático medio (RMSE). El modelo de calibración obtenido tiene un  $R^2$  de 0,80 y un RMSE de 0,6115 y un  $R^2$  de 0,72 y

un RMSE de 0,7154 para validación. Los resultados indican que es posible sustituir los métodos destructivos por modelos espectrales para determinar firmeza en agraz.

**Palabras clave:** NIR, colombian blueberry, textura

### ABSTRACT

In recent years interest in agraz consumption has increased, fruit that is produced between 2000-2900 and has antioxidant properties, which make it attractive in national and international markets. One of the main characteristics to determine the quality of the fruit is firmness and as it is affected during storage, currently it is used destructive testing for its evaluation; However, near-infrared (NIR) spectroscopy is a non-destructive method that determines the characteristics external and internal of agricultural products. The objective of this work was the development of a model for prediction of firmness in agraz with NIR spectroscopy. The agraz was collected in 3 State of maturity, was selected according to its phytosanitary status and was stored at room temperature for 19 days during which was monitored the change of firmness. 502 samples were used in the calibration set and 161 samples in the validation set, for the elaboration of models, the partial least squares regression was used. To evaluate the models were established as criteria the determination coefficient ( $R^2$ ) and the mean square error (RMSE). The obtained calibration model has a  $R^2$  of 0.80 and a RMSE of 0.6115 and a  $R^2$  of 0.72 and a RMSE of 0.7154 for validation. The results indicate that it is possible to replace the destructive methods by spectral models to determine the firmness of agraz.

**Key words:** NIR, Colombian blueberry, texture

### INTRODUCCIÓN

El agraz (*Vaccinium meridionale*) es un fruto que ha adquirido una gran importancia en el mercado colombiano, debido a sus propiedades antioxidantes que lo hacen atractivo al consumidor nacional e internacional. Por otro lado, su fácil adaptación a diferentes ambientes y las condiciones climáticas del país, permiten mantener una producción constante durante todo el año (Ligarreto *et al*, 2008).

El fruto es una baya redonda, con un diámetro entre 5 y 10 milímetros de color verde en su crecimiento y purpura oscuro cuando alcanza su madurez. Su pulpa tiene un sabor ácido pero agradable, con numerosas semillas pequeñas (Hoyos, 1989). El mercado de agraz se encuentra concentrado en estados de madurez 4, 5 y 6 cuyas características físicas son un tamaño mínimo de 6 mm, color purpura oscuro casi negro brillante, forma redonda, textura suave pero firme al tacto, libre de daños en la epidermis (Ávila *et al*, 2007).

Una de las principales características que se tienen en cuenta para la comercialización del producto es su firmeza y como ésta se ve afectada durante su almacenamiento, especialmente si el fruto es de exportación, para realizar esta evaluación es necesario destruir el fruto y aplicar técnicas dispendiosas de laboratorio, es por ello que actualmente se buscan nuevas técnicas no destructivas y más rápidas, siendo una de ellas la espectroscopia del infrarrojo cercano (Guillen & Cabo, 1997). Dentro de otros beneficios que presenta el uso de esta técnica se encuentran: la rapidez de respuesta, el bajo costo, la alta precisión, no requiere del uso de reactivos y es posible la adquisición de información para diferentes parámetros de calidad a partir de una sola lectura (Osborne, 1993).

La espectroscopia NIR consiste en estudiar la radiación electromagnética en la región del infrarrojo cercano, que comprende las longitudes de onda entre 780 nm y 3000 nm y la interacción de estas longitudes con la materia irradiada por las mismas (Gauglitz & Vo-Dinh, 2005). Las firmas espectrales que se obtienen por esta metodología junto con las medidas obtenidas por las técnicas convencionales son procesadas por métodos de análisis multivariable y técnicas de quimiometría, con las que es posible llegar a la construcción de modelos de predicción.

El objetivo de este trabajo fue elaborar un modelo de predicción de firmeza en agraz haciendo uso de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), utilizando frutos en estados de madurez 3, 4 y 5.



## MATERIALES Y METODOS

*Frutos.* Los frutos de agraz provenían del municipio de San Miguel de Sema, Boyacá, Colombia. El fruto fue cosechado en estado de madurez 3, se seleccionó de acuerdo con su estado fitosanitario, de manera que no presentara daños en la superficie. Se dividió en 663 muestras de  $15 \pm 5$  g cada una, almacenadas en cajas air pack a temperatura ambiente.

*Mediciones Convencionales.* Todas las muestras se analizaron en un periodo de 19 días, la medición de firmeza se realizó mediante el ensayo de compresión en un texturómetro (Magness Taylor) con un analizador de textura Brookfield CT3 (modelo CT3-4500 g, USA), que proporciona el valor de la fuerza requerida para penetrar el fruto. Para estas mediciones, se seleccionaron aleatoriamente 5 frutos por cada unidad experimental. Las mediciones NIR, se realizaron en el rango de longitudes de onda de 350 a 2400 nm con un espectro radiómetro FieldSpec 4 Hi-Res (ASD, inc.), que permite obtener datos cada 1 nm.

*Análisis multivariado del espectro NIR.* Los datos obtenidos se dividieron en dos conjuntos, uno para desarrollar el modelo discriminante (Calibración), donde se realizó una validación cruzada y otro para evaluar el modelo (Validación externa). Se utilizaron 502 datos en el set de calibración y 161 en el set de validación, para estados de madurez 3, 4 y 5. El análisis de los datos espectrales se llevó a cabo con el software Unscrambler X; Con el objetivo de reducir el ruido en el espectro se llevó a cabo un suavizado Savitzky-Golay y se aplicó segunda derivada, como técnica para acentuar regiones importantes en el espectro, el modelo se construyó a partir de una regresión por mínimos cuadrados (PLS) (Shenk & Westerhaus, 1991).

Los parámetros estadísticos usados para evaluar el modelo fueron el coeficiente de determinación  $R^2$  y el error cuadrático medio (RMSE).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó un análisis de los datos de firmeza adquiridos con el texturómetro. A continuación, se muestran los resultados del análisis estadístico para cada estado de madurez del fruto (Media, desviación estándar y coeficiente de variación (CV))



**Tabla 7.** Estadísticos para cada estado de madurez.

Estado de madurez	Media (N)	Desviación estándar	CV
3	4,27	0,976	22,85%
4	3,43	0,975	28,40%
5	2,51	1,715	68,26%

En la tabla 1, se evidencia una disminución en los valores de firmeza durante el periodo de almacenamiento de los frutos de agraz, debido a la solubilización de los polisacáridos pécticos de la pared celular, presentes en la pulpa y en la cascara del agraz (Redgwell *et al*, 1997), debido a que la fuerza es registrada cuando la celda del texturómetro llega a la pulpa y de acuerdo con los estudios realizados por Vargas *et al* en 2001, la textura del fruto está determinada en un alto porcentaje por la firmeza de la pulpa, por lo cual se puede afirmar que la pulpa de los frutos maduros presentan menor resistencia que la de los frutos inmaduros.

Por otro lado, la pérdida de turgencia en los frutos se encuentra ligada a los fenómenos osmóticos que ocurren en la pared celular del mismo. Los cuales, a su vez, dependen de la presencia de solutos osmóticamente activos, tales como la glucosa y la fructosa. Durante la maduración, estos azúcares se reducen, por ende, disminuye la capacidad de atracción por agua y la firmeza del fruto se reduce (Salisbury & Ross, 1992).

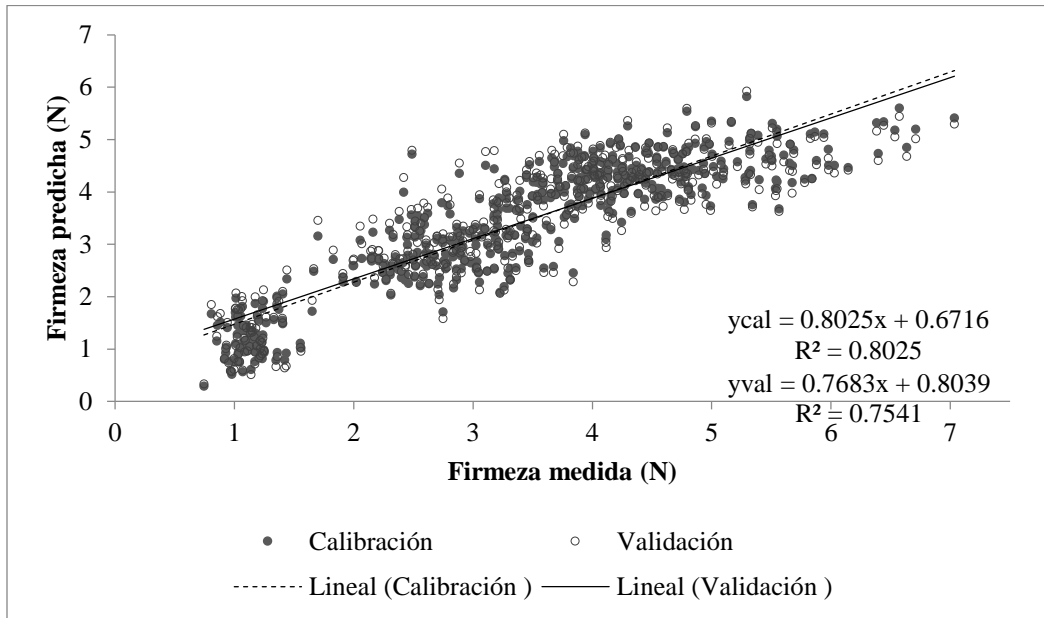
Para firmeza, el mejor modelo NIR se obtuvo con suavizado y segunda derivada de Savitzky-Golay para todo el espectro. A continuación, se presentan los valores de los parámetros del modelo calibración y validación.

**Tabla 8.** Parámetros  $R^2$  y RMSE para el modelo PLS de firmeza.

Parámetros	Calibración	Validación	Validación
$R^2$	0,80	0,75	0,72
RMSE	0,6115	0,6830	0,7154

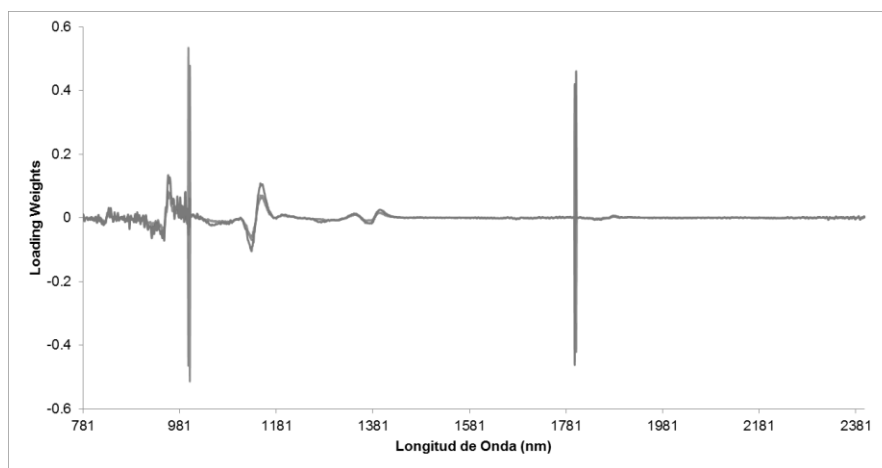
En la Tabla 1, se evidencia que se obtuvo un buen modelo para firmeza, ya que los valores de  $R^2$  se consideran altos, ya que se acercan a la unidad (De la puente Viedma, 1995), tanto para la calibración como para la validación. Varios autores han trabajado con técnicas no destructivas para la determinación de este parámetro en diversos frutos, de los cuales es posible destacar los resultados obtenidos por Lu 2001, quien usando reflectancia difusa predijo la firmeza para cerezas con un  $R^2$  de 0,80 y 0,65 para calibración y validación respectivamente, en un rango de 800 a 1700 nm, Hu *et al* en 2016, a partir de imágenes hiperespectrales predijeron la firmeza con un  $R^2$  de 0,75 para calibración y 0,60 para validación y RMSE de 0,11 y 0,12 respectivamente y Leiva-Valenzuela *et al.* en 2013, obtuvieron modelos de firmeza para arándanos reportando un  $R^2$  para calibración de 0,88 y para validación de 0,92 y un RMSE de 0,23 y 0,26 respectivamente. Los resultados obtenidos en este trabajo se asemejan a los valores reportados por estos autores para otros tipos de bayas, indicando que el modelo obtenido es aceptable para la determinación de la firmeza en este fruto. Adicionalmente, en la Gráfica 1 se observa la baja dispersión de los datos y la similitud entre las rectas de regresión para los grupos de datos medidos y datos predichos, así como valores de  $R^2$  altos.

Sin embargo, se requiere continuar con la investigación para el desarrollo de nuevas metodologías de análisis y técnicas de medición de datos espectrales, con el fin de generar modelos con coeficientes de determinación más altos y errores menores. Esto, teniendo en cuenta el uso que se dará al mismo, por ejemplo, en selección y clasificación de agraz no se requiere determinar la firmeza de un solo fruto sino obtener valores medios por lote, que permitan clasificar las bayas (Leiva-Valenzuela *et al.* 2014).



**Figura 1.** Datos medidos versus datos estimados NIR para firmeza

En la Gráfica 2 se observa que el pico de mayor importancia se presenta a los 999 nm, seguido por un pico en 1802 nm, lo cual concuerda con lo concluido por Leiva- Valenzuela *et al.* en 2013, pues en regiones cercanas a 980 y 1900 nm se encuentran las bandas de absorción de agua. Característica que está directamente relacionada con la firmeza ya que la pérdida de agua debida a procesos de respiración y transpiración conlleva a un ablandamiento del fruto.



**Figura 2.** Longitudes de onda representativas para el parámetro de firmeza en agraz

## CONCLUSIONES

Es posible reemplazar técnicas destructivas de determinación de firmeza en frutos de agraz, a través del desarrollo de modelos predictivos utilizando la espectroscopia NIR como una herramienta de clasificación. Estos resultados pueden mejorar al utilizar un número mayor de muestras, diferentes equipos de medición y otras técnicas de manejo estadístico de los datos.

Por otro lado, se evidencia el efecto del almacenamiento en la pérdida de agua del producto y por consiguiente en la disminución de la firmeza de este, lo cual afecta la calidad del producto en los estados de madurez estudiados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ávila, H.G., Cuspoca, J.A., Fischer, G., Ligarreto, G.A. y Quicazán, M.C. (2007). Caracterización fisicoquímica y organoléptica del fruto de Agraz (*Vaccinium meridionale Swartz*) almacenado 1 a 2 °C. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. Volumen 60 (No. 2): p. 4179-4193.

De la Puente Viedma, C. (1995). Una guía para la investigación. Editorial Complutense. Madrid. Volumen 2. Pp. 527-531

Gauglitz, G. y Vo-Dinh, T. (2005). Handbook of Spectroscopy. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Pp.37-47.

Guillen, M.D. y Cabo, N. (1997). Infrared spectroscopy in the study of edible oils and fats. J. Sci. Food Agric. (No. 75): 1-11.

Hoyos, J. (1989). Frutales en Venezuela (nativos y exóticos). Monografía 36. Sociedad de Ciencias Naturales, La Salle, Caracas, Venezuela. 104 p.

Hu, M.H., Dong, Q.L. y Liu, B.L. (2016). Classification and characterization of blueberry mechanical damage with time evolution using reflectance, transmittance and interactance imaging spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture, 122, PP.19-28.

Leiva-Valenzuela, G.A., Lu, R. y Aguilera, J. M. (2013). Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging. *Journal of food Engineering*, 115 (1). Pp. 91-98.

Leiva-Valenzuela, G. A., Lu, R. y Aguilera, J.M. (2014). Assessment of internal quality of blueberries using hyperspectral transmittance and reflectance images with whole spectra or selected wavelengths. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 24, pp. 2-13.

Ligarreto, G.A., Montaña. A., Muñoz, J.D., Matallana, L. y Perea, M. (2008). *Agraz (Vaccinium sp.). Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutales tropicales.* Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Lu, R. (2001). Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers*, 44(5), pp. 1265-1271.

Redgwell, R.J., Fischer, M., Kendall, E y Mac-Rae, E. (1997). Galactose loss and fruit ripening: high-molecular-mass arabinogalactans in the pectic polysaccharides of the fruit cell walls. *Planta.* (No 203):174-181.

Salsbury, F.B. y Ross, C.W. (1992). *Plant Physiology.* Wadsworth Publishing. Belmont.CA. pp. 682

Shenk, J.S. y Westerhaus, M.O. (1991). New standardization and calibration procedures for Nir's analytical systems. *Crop Science.* Pp. 1694-1696.

Vargas, A., Pérez, J., Zoffoli, J. P. y Pérez, A. (2001). Comparación de variables de textura en la medición de firmeza de bayas de uva Thompson seedless. *Ciencia e investigación agraria.* 28(1):37-42.

## ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO DÉFICIT DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS EM MINAS GERAIS, BRA

Marlon Fernandes de Souza - UFMG/IGC, Brasil

Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega – UFMG/IGC, Brasil

Thaiana Tássia Guimarães – Ambev, Brasil

marlonfsouza@ufmg.br

+55-31-3331-6042

### RESUMO

A armazenagem de grãos é fundamental para equalizar oferta e demanda, equilibrando a economia e garantindo a segurança alimentar. Em todo o Brasil, a produção de grãos tem alcançado sucessivos recordes sem que hajam investimentos na mesma proporção na pós-colheita. Minas Gerais é um estado importante para o agronegócio brasileiro, e apresentou em 2016 um déficit de 6,5 milhões de toneladas de capacidade de armazenamento. Tão importante quanto a construção de novas unidades armazenadoras para suprir este déficit, é a localização adequada destas novas unidades, devido ao elevado montante de investimento e a importância desta instalação em um sistema logístico de grãos. O objetivo da pesquisa foi estimar a oferta de armazenagem ponderada pelo giro de estoques para todos os municípios de Minas Gerais. O giro foi estimado de acordo com o tipo de atividade e a propriedade da unidade. Na sequência foi feita uma análise geográfica identificando as áreas que apresentam concentração de déficit ou excedente de armazenagem. Os maiores déficits foram encontrados na mesoregião Noroeste, principalmente nos municípios de Unaí e Paracatu. Já no Triângulo Mineiro existe um contraste de elevado excedente, concentrado em Uberlândia e Araguari, cercado por uma região deficitária em infraestrutura de armazenamento. As áreas deficitárias identificadas no estudo são as de maior produção agrícola do estado, e precisam de investimentos para aumentar a competitividade da agricultura mineira.

**Palavras-chave:** déficit de armazenagem, análise de *kernel*, geoestatística, logística de grãos.

## ABSTRACT

Grain storage is key important to promote balancing of the economy and to ensure food security. All over Brazil, the grain production has reached successive records even with no investments in the same proportion in the post-harvest. Minas Gerais is an important state in Brazilian agribusiness, and in 2016 presented a deficit of 6.5 million tons of storage capacity. Due to the high amount of investment and the importance of the storage facility in a grain logistics system, the identification of the best feasible location to install new warehouses can be considered as important as construction itself. Regarding the importance of the theme, the objective of this paper is to estimate the grain storage supply weighted by turnover for all municipalities of Minas Gerais. The turnover was estimated according to the type of activity and ownership of the unit. Then, using geographic analysis the areas with concentration of warehousing deficit or surplus were identified. The largest deficits were found in the Northwest mesoregion, mainly in the municipalities of Unai and Paracatu. In the Triangulo Mineiro there is a contrast of high surplus, concentrated in Uberlandia and Araguari, surrounded by a region deficient in warehousing infrastructure. The deficit areas identified in the study are those with the highest agricultural production in the state and require investments to increase the competitiveness of the state for agriculture.

**key-words:** *storage deficit, kernel analysis, geostatistics, grain logistic*

## INTRODUÇÃO

Há muito tempo o homem tem armazenado alimentos e mantido animais para cobrir situações de emergência, fome e seca (ACKERMAN, 1990; TOMPKINS e SMITH, 1998). Hoje, além das funções intrínsecas correspondentes à manutenção da qualidade, controle de perdas e estocagem de excedente, o armazenamento de grãos cumpre funções extrínsecas relacionadas com a logística de produção, logística de transporte, suporte à comercialização, estoques reguladores, e auxílio às políticas de segurança alimentar (BIAGE et al., 2002).

A rede armazenadora brasileira concentrou-se nos portos e grandes centros urbanos desde o seu surgimento, somente a partir dos anos 70, a rede avançou para o interior (SILVA;

CAMPOS; SILVEIRA, 2008). Isso resultou em atividade tipicamente urbana (SILVA, 1995), e com baixo percentual de armazenagem na fazenda (NOGUEIRA Jr.; TSUNECHIRO, 2011; ROCHA et al., 2014). Minas Gerais apresenta 21% de armazéns localizados nas fazendas, percentual superior à média nacional, mas ainda inferior ao encontrado em países como EUA, Canadá e Argentina (CONAB, 2005).

Atualmente, a rede armazenadora brasileira é deficitária e mal posicionada (CAIXETA-FILHO, 2006). A situação da armazenagem é de tamanha relevância que o Plano Agrícola e Pecuário (PAP) 2017/2018 publicado pelo governo federal brasileiro, definiu a expansão da capacidade estática de armazenamento e inovação tecnológica como prioridades. Direcionando recursos estatais e estabelecendo a menor taxa de juros dentre todas as áreas atendidas com financiamento (MAPA, 2017). Mas tão importante quanto o investimento na construção de novas unidades, que aumentarão a capacidade estática de armazenamento, é o posicionamento adequado dessas novas instalações. Sabendo-se que o investimento exigido para localização ou realocação de instalações geralmente é grande, espera-se que as mesmas permaneçam operáveis por um longo período de tempo (OWEN e DASKIN, 1998).

O objetivo da pesquisa foi estimar a oferta de armazenagem para todos os municípios do estado de Minas Gerais, e fazer uma análise espacial dessa oferta. Entende-se como oferta de armazenagem o balanço entre capacidade de armazenamento e a produção anual de grãos, que podem utilizar o mesmo tipo de estrutura de armazenamento.

### **MATERIAIS E METÓDOS**

A metodologia adotada tem abordagem quali-quantitativa, com objetivos notadamente exploratórios (GIL, 2002). Os softwares empregados foram ArcGIS 9.3 e Microsoft Excel 2016.

A base cartográfica utilizada consiste da carta topográfica na escala operacional de 1:250.000 da malha de municípios do estado de Minas Gerais (853 no total), de acordo com a estrutura político-administrativa vigente em 01/07/2015 (IBGE, 2016). Os dados de produção agrícola são da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM - IBGE) referente ao ano safra 15/16, obtidos na Tabela 5457 através do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Foi



considerada a produção, em toneladas, de amendoim; arroz; aveia; centeio; cevada; feijão; girassol; mamona; milho; soja; sorgo; trigo; triticale e café. Dados de armazenagem foram obtidos no Sistema do Cadastro Nacional de Unidades Armazenadoras (SICARM) da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) no nível da unidade armazenadora (1.259 no total) e foram agregados (capacidade estática e número de armazéns) ao nível de município.

As bases de dados tabulares foram organizadas no Excel, em seguida foi feita a junção com o *shapefile* de municípios, utilizando a ferramenta *join* do ArcGIS. O sistema de coordenadas da malha municipal de Minas foi previamente alterado para um sistema de coordenadas projetadas cônico que preserve as distâncias, afim de não interferir nos cálculos de densidade de armazenagem (SNYDER, 1987). O sistema escolhido foi o *South America Equidistant Conic*.

No cálculo da oferta de armazenagem, a produção total anual de cereais, leguminosas, oleaginosas e café foi multiplicada por 1,2, seguindo-se uma recomendação da FAO para que sistema de armazenamento seja capaz de comportar oscilações positivas na produção. Já a capacidade de armazenamento considerada foi dinâmica, que é a capacidade estática ponderada pelo giro (índice de rotatividade, que indica quantas vezes o armazém enche em um ano) e por um fator de redução de demanda devido a utilização de estruturas temporárias de armazenamento, como silos *bag*. Dessa forma, a oferta de armazenagem para cada um dos municípios de Minas foi calculada conforme Equação 2.

$$O = (CE \times G \times ET) - (PRD \times 1,2) \quad (2)$$

Em que:

O: Oferta de armazenagem estimada

CE: Capacidade estática

G: Giro de estoques

ET: Fator de redução da demanda devido a utilização de estruturas temporárias (silos bolsa)

PRD: Produção de grãos

Maia et al. (2013) afirmam que a dificuldade para a obtenção da capacidade dinâmica é a definição de um fator de rotatividade que reflita a realidade brasileira. Sabe-se que existe grande diferença do giro dentre os tipos de armazém existentes, dependendo da atividade do mesmo. Além disso, no Brasil várias safras não coincidem, e não se colhe toda a produção simultaneamente (CONAB, 2005; MAIA et al., 2013). Neste trabalho, o giro foi estimado a partir de entrevistas com profissionais da área, de acordo com o tipo de atividade e a propriedade da unidade, sendo apresentado no Quadro 1. Na sequência foi calculado um giro médio para cada municipalidade. Como referência, Nogueira Jr. e Tsunehiro (2005) calcularam a capacidade dinâmica no Brasil utilizando o fator de rotatividade de 1,5, apontado pelos autores como valor padrão universal.

**Quadro 1.** Giro estimado de acordo com o tipo de propriedade e atividade do estabelecimento.

<b>Tipo de propriedade da empresa</b>	<b>Tipo de atividade do estabelecimento</b>	<b>Giro</b>
Governo	Comércio (exceto supermercado)	1,2
	Indústria	1,6
	Serviço de armazenagem	1,0
	Produção agropecuária	1,0
Iniciativa privada (exceto cooperativa)	Comércio (exceto supermercado)	1,5
	Indústria	3,5
	Serviço de armazenagem	1,5
	Produção agropecuária	1,3
Cooperativa	Comércio (exceto supermercado)	1,5
	Indústria	2,5
	Serviço de armazenagem	1,3
	Produção agropecuária	1,2
Economia mista	Comércio (exceto supermercado)	1,5
	Indústria	2,5
	Serviço de armazenagem	1,2
	Produção agropecuária	1,0

Obs.: Elaborado pelos autores a partir de entrevistas de campo e dados da Pesquisa de Estoques/IBGE. A atividade “Supermercado” não aparece, pois deixou de ser investigada a partir do 2º semestre de 2014, em decorrência de reformulação da Pesquisa.

O tipo de propriedade, utilizado para determinação do giro de estoque (G), foi obtido na Tabela 278 da Pesquisa de estoques. Porém, nesta tabela os valores de capacidade estática

para “*Armazéns convencionais, estruturais e infláveis*” estão em metros cúbicos ( $m^3$ ). A fim de possibilitar o cálculo, os valores foram convertidos em toneladas (t). A conversão considerou  $0,785 t/m^3$ , valor utilizado em IBGE (2011) e Maia et al. (2013), baseado na densidade do milho e da soja.

Para determinação do fator de redução da demanda devido a utilização de estruturas temporárias (ET) foram utilizados dados de venda de silos *bag*, obtidos junto a Ipesa do Brasil, empresa referência na comercialização deste tipo de estrutura de armazenamento.

Após o cálculo da oferta de armazenagem de cada município, foi feita uma análise de *kernel*, utilizando a ferramenta *Kernel Density (Spatial Analyst)* do ArcGIS, identificando as áreas que apresentam concentração de déficit ou excedente de armazenagem.

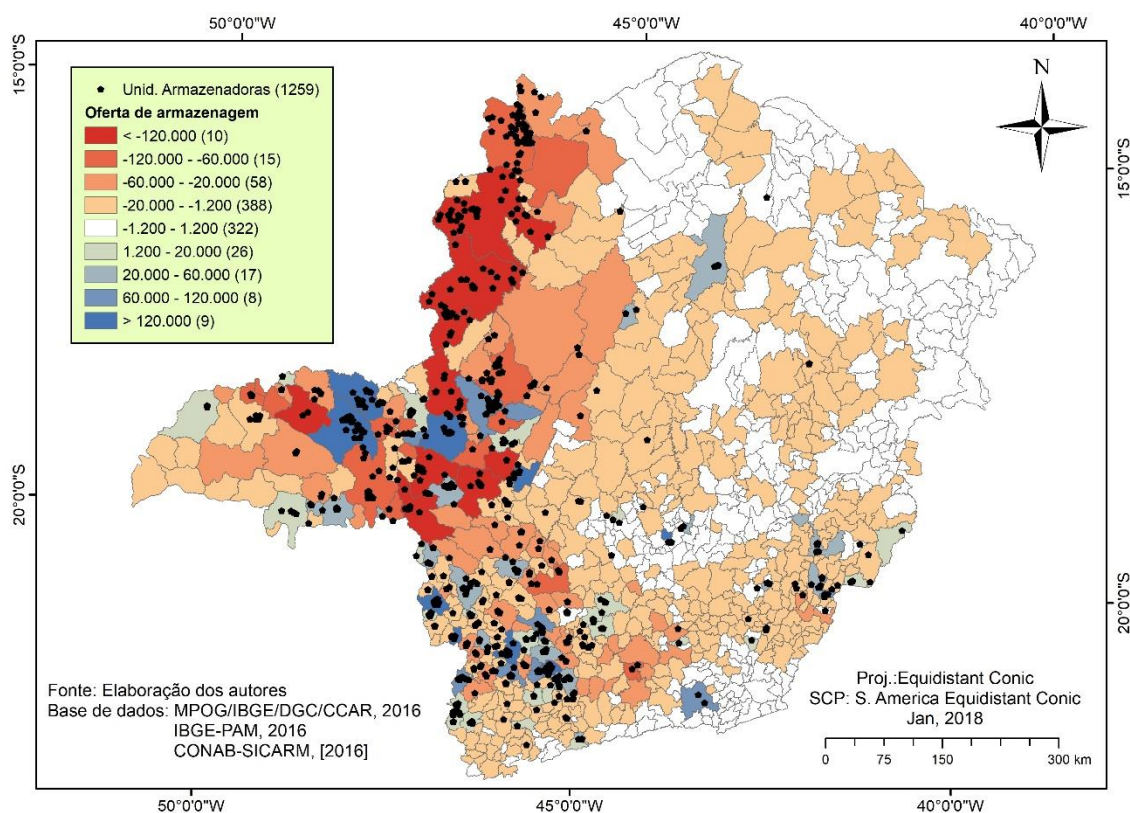
### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio do giro estimado (G) para os municípios mineiros que possuem unidades armazenadoras ficou em 1,4, um pouco abaixo do giro de 1,5 utilizado por Nogueira Jr. e Tsunehiro (2005). Já o fator de redução de demanda por utilização de estrutura temporária (ET) foi estimado em 4%. Portanto a capacidade dinâmica de armazenamento foi estimada como sendo, em média, 46% superior a capacidade estática (CE).

Considerando a capacidade dinâmica, o déficit de armazenagem no estado é pouco superior a 2 milhões de toneladas. Observa-se no mapa da Figura 1 a oferta de armazenagem dos municípios de Minas Gerais, sendo possível identificar as regiões que apresentam déficit, ou excedente em capacidade de armazenamento.

Os municípios onde a produção anual total de cereais, leguminosas, oleaginosas e café é inferior a 1200 t (conforme corte adotado pelo IBGE na Pesquisa de Estoques) e que não possuem unidades armazenadoras registradas no SICARM não são objeto de interesse deste estudo. Já que a produção é insignificante para justificar a instalação de uma estrutura de armazenamento de maior porte e com tecnologias avançadas, muito provavelmente o armazenamento é realizado em estruturas rústicas de pequeno porte, como paióis, galpões e celeiros.

Observa-se na Figura 1 que a maior parte dos municípios (471) apresentam algum nível de déficit de armazenagem, mesmo quando considerada a capacidade dinâmica de armazenamento. A classe com maior número de localidades (388) tem oferta variando de -20.000 a -1.200 toneladas.



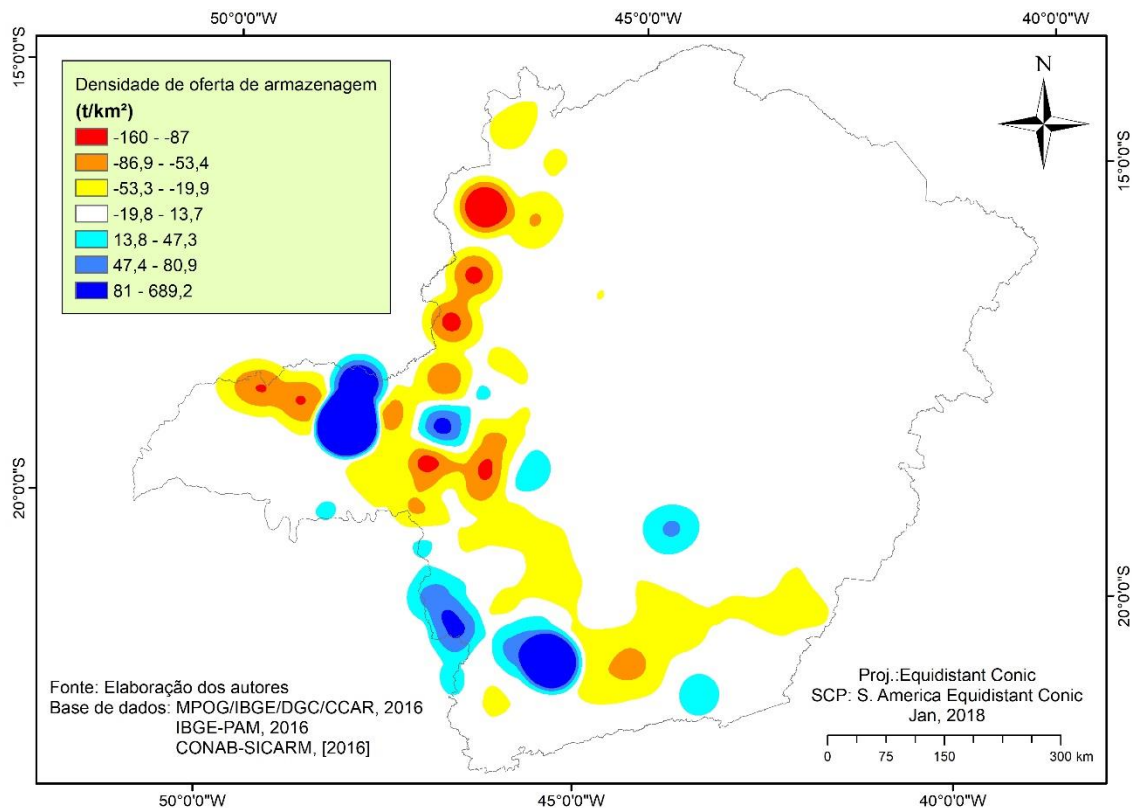
**Figura 1.** Distribuição espacial da oferta de armazenagem em Minas Gerais.

As cidades com excedente de capacidade estática são importantes polos de produção, comercialização, armazenamento e distribuição de commodities agrícolas. Uberlândia (Maior excedente) é um polo do agronegócio que abriga fábricas e empresas, além de ser um importante centro logístico. Varginha (2º maior excedente) é um dos principais centros de comércio e produção de café do Brasil e do mundo. Araguari (3º maior excedente) é um importante centro logístico, abrigando um dos maiores terminais de transbordo de grãos e fertilizante da América Latina. Em Guaxupé (4º maior excedente) a produção de café é tão importante, que a cidade é a sede de uma das maiores cooperativas da América Latina.

Destacam-se ainda Patrocínio, São Sebastião do Paraíso, Alfenas, São Gotardo, Contagem, Iraí de Minas e Elói Mendes.

Já as cidades com capacidade estática bem abaixo do esperado situam-se majoritariamente no Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas. As cidades do Triângulo Mineiro estão no entorno de Uberlândia, Araguari e Patrocínio. Nesse caso a produção vai direto da lavoura para a exportação, ou para as unidades de processamento. Nesses municípios, a distância percorrida pelos grãos da lavoura até uma unidade armazenadora, onde será feita a limpeza, classificação e padronização do produto é geralmente maior do que o recomendado, porém em boa parte das vezes o grão não terá que ser transportado novamente até uma fábrica ou transbordo, pois já se encontrará em uma dessas instalações.

A situação mais crítica é encontrada no Noroeste de Minas, onde estão o primeiro (Unaí), terceiro (Paracatu) e quarto (Guarda-Mor) maiores déficits. Nessa mesorregião há uma concentração de déficit de armazenagem (Figura 2) que pode impactar na competitividade do agronegócio.



**Figura 2.** Densidade de *kernel* da oferta de armazenagem, indicando (em vermelho) as áreas com concentração de déficit.

Via de regra, não há formação de grandes agrupamentos de déficit de armazenagem no estado. Os núcleos se alternam entre déficit e excedente, apesar da área deficitária maior.

### CONCLUSÕES

O déficit de armazenagem de grãos apresenta-se distribuído na maior parte das regiões produtoras de Minas Gerais, com concentração mais significativa na região Noroeste. A lacuna de armazenamento é significativa mesmo quando considerada a capacidade dinâmica. Entretanto, é importante mencionar que, a base de dados utilizada, apesar de ser oficial e uma das mais completas atualmente disponíveis, não possui toda as unidades armazenadoras existentes, faltando principalmente aquelas localizadas nas propriedades rurais. A análise espacial da oferta de armazenagem, assim como las características das regiões com déficit de armazenamento devem ser informações estratégicas utilizadas para orientar políticas públicas e projetos de investimento.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerman, K.B. (1990). *Warehousing: Origins, History and Development*. In: Practical Handbook of Warehousing. Boston: Springer. Cap. 1, 3-11.
- Biagi, J.D.; Bertol, R.; Carneiro, M.C. (2002). *Armazéns em Unidades centrais de Armazenamento*. In: Lorini, I. et al. (Ed). Armazenagem de Grãos. Campinas: IBG. Cap. 3.3, 157-161.
- Caixeta-Filho, J.V. (2006). *A logística do escoamento da safra brasileira*. São Paulo: CEPEA/USP.
- CONAB – Cia. Nacional de Abastecimento (2005). *Armazenagem Agrícola no Brasil*. Brasília: Conab.
- Gil, A.C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ed. São Paulo: Atlas.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). *Proposta de reformulação pesquisa de estoques*. 2ª versão. Rio de Janeiro: IBGE, DPE – COAGRO.
- IBGE – Inst. Bras. de Geografia e Estatística (2016). *Mapas: Malhas digitais*. Nota Tec. Brasília: IBGE.
- Maia, G.B.S. et al. (2013). *Panorama da armazenagem de produtos agrícolas no Brasil*. Rev. do BNDES, 40, 161-194.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017). *Plano Agrícola e Pecuário 2017/2018*. Brasília: MAPA, Secretaria de Política Agrícola (SPA).
- Nogueira Jr., S.; Tsunehiro, A. (2005). *Produção agrícola e infraestrutura de armazenagem no Brasil*. Inf. Econômicas, 35 (2), 7-18.
- Nogueira Jr, S.; Tsunehiro, A. (2011). *Pontos críticos da armazenagem de grãos no Brasil*. S. Paulo: IEA.
- Owen, S.H.; Daskin, M.S. (1998). *Strategic facility location: a review*. Eur. J. Oper. Res, 111(3), 423-447.

Rocha, F.V. et al. (2014). *Fatores Que Afetam A Decisão do Produtor em Investir em Novos Armazéns Agrícolas*. In: XVII SemeAd, 2014, São Paulo, SP, Brasil. XVII SemeAd - Anais, FEA-USP.

Silva, J.S. (1995). *Pré-processamento de produtos agrícolas*. Juiz de Fora: Instituto Maria.

Silva, J.S.; Campos, M.G.; Silveira, S.F.R. (2008). *Armazenagem e Comercialização de Grãos no Brasil*. In: Silva, J.S. (Ed). *Sec. e armazenagem de produtos agrícolas*. 2ed. Viçosa: Aprenda Fácil. Cap.1, 8-27.

Snyder, J. (1987). *Map Projections: A Working Manual*. Washington: USGS Publications Warehouse.

Tompkins, J.A.; Smith, J.D. (1998). *The Warehouse Management Handbook*. 1ed. Raleigh: Tompkins Press.



## CONECTANDO CAFICULTORES CON EL MUNDO Y AL MUNDO CON LAS GRANJAS CAFETERAS. CALIDAD, TRANSPARENCIA E IMPACTO SOCIAL

**Hugo Andrés López Fisco - Ing Agrícola MSc Innovación**

**[hlopez@innovakit.com](mailto:hlopez@innovakit.com) - (057) 3127919453 - Colombia**

### RESUMEN

Se implementó un modelo de innovación y apropiación de conocimiento dirigido a caficultores colombianos, que permite optimizar sus procesos, disminuir costos de producción y generar relaciones más estables, directas y de largo plazo con consumidores en el exterior. Las innovaciones tecnológicas incluyeron toda la cadena productiva del café, desde la finca (cultivo, cosecha, fermentación, secado y almacenamiento), pasando por la cadena de transformación y suministro, y llegando hasta el consumidor final; adicionalmente, se desarrolló una plataforma de trazabilidad digital en tiempo real, llamada Trace.coffee®, que permite conectar directamente a productores con consumidores. A partir de esto, se lograron procesos de apropiación tecnológica por más de 300 pequeños caficultores de Colombia en 5 departamentos, gracias a un modelo de negocio que aumenta la rentabilidad porque reduce costos al facilitar el control de los procesos e incrementa el precio de venta de los cafés por su especialidad. Esta estrategia impacta el desarrollo territorial gracias a que la tecnología es el eje articulador. La conexión entre productores y consumidores a través de internet generó relaciones humanas sólidas, cafés de alta calidad y consistencia, visibilidad, reconocimiento y jóvenes construyendo relevo generacional, sostenibilidad, trazabilidad y mejores ingresos para todos los involucrados.

**PALABRAS CLAVE:** Innovación social, trazabilidad, relevo generacional, cafés especiales.

## ABSTRACT

For this project a technological innovation and knowledge transfer model was implemented, targeted to Colombian coffee growers and with the goals of optimizing processes, reducing production costs and creating direct, stable and long-term connections with buyers and consumers abroad. The technological innovations covered the whole production chain, from the farm (plantation management, harvesting, fermentation, drying and storage), through the supply chain and all the way to the end consumer. Additionally, we included a traceability software and hardware platform, called Trace.Coffee®, which allows the direct connection between coffee producers and consumers. Together, these tools enabled technology appropriation processes for more than 300 small coffee growers in 5 Colombian departments, applying a model that increases their income by reducing costs, through improved control of processes, and increases the sale price through higher and more consistent product quality. This strategy achieves impact in the development of coffee growing regions, by using technology as the articulation agent. The connection it creates between producers and consumers generates solid human relationships, ensures consistently high coffee cup quality, visibility and recognition for growers, as well as the involvement of younger generations, allowing the creation of a stronger and more transparent supply chain that guarantees sustainability, traceability and better income to all those who are part of it.

**KEY WORDS:** Social innovation, traceability, generational succession, specialty coffees.

## INTRODUCCIÓN

### ● El Café en Colombia

La actividad cafetera colombiana predominante es cimentada actualmente en estructuras de corte campesino y minifundista. Conserva un protagonismo indiscutible en el país, dado que el cultivo se encuentra presente en más de la mitad de los municipios (570), en algunos como baluarte de sus economías; participa con el 18% del área destinada a la agricultura y el 37% de los cultivos permanentes, aporta el 15% del empleo rural; para el primer trimestre de 2017, el PIB agrícola se expandió en 7,7%, impulsado por el café (11,5%) y otros cultivos (12%), pasando de una participación de 0,5 en 2012 a 0,9 en 2017 (Moreno, A. 2017); genera

alrededor de \$150 mil millones de ingresos, distribuidos en más de 560 mil familias que han encontrado en el cultivo el sustento de su devenir social.

En esencia, la caficultura constituye la impronta de una tradición transferida por generaciones, la huella de un proceso de apropiación lícito del territorio colombiano y el símbolo inequívoco de afirmación cultural de miles de familias, representadas en Comités departamentales y municipales que soportan las políticas conducentes al bienestar regional que en el plano comercial, cuentan con un esquema de comercialización interna conformada por una red de puntos de compra particulares y privados.

Los cafés especiales son un nuevo segmento del mercado de café, que se vienen construyendo a partir de las demandas de los grandes mercados, que a su vez están divididos entre cafés certificados mediante los programas de sostenibilidad y cafés que generan mayor percepción de valor por los clientes, gracias a su diferenciación en procesos y por ende en taza.

#### ● **Innovación como estrategia de desarrollo**

La innovación se puede definir de diferentes formas y en general siempre se vincula a diversos ámbitos como el económico, social, educativo, cultural, entre otros; sin embargo, todas las precisiones redundan en que innovar significa “introducir modificaciones en la manera de hacer las cosas, para mejorar el resultado final”. Dado el creciente auge en implementar procesos de innovación, se ha incrementado también el interés de los países por invertir mayores recursos en ciencia, tecnología e innovación (CTI) y de la misma forma definir las metodologías apropiadas para medir dicha inversión y determinar los indicadores pertinentes.

Con este proyecto se implementaron innovaciones tecnológicas para el control de procesos de producción del café, facilitando el acceso al mercado a través del internet, logrando apropiación de las mismas y un nuevo modelo de negocio basado en la calidad, el desarrollo territorial y la tecnología como eje articulador.

- **Innovakit como generador de innovación y procesos de apropiación**

Innovakit es una empresa de base tecnológica (Spin-Off de Cenicafé), dedicada al mantenimiento y control de la calidad en la producción de café hasta la taza, basados en procesos tecnológicos sencillos. Comercializa y transfiere tecnologías innovadoras y de bajo costo para el caficultor, que generan rentabilidad en la cosecha, calidad en el beneficio, eficiencia en el secado y optimización en la comercialización con valor agregado.

En los últimos años, con base en una alianza estratégica con la firma Martha Special Coffee de EEUU, desarrollaron una plataforma de trazabilidad en tiempo real denominada Trace.Coffee®, mediante la cual se incorporan los desarrollos tecnológicos que ayudan a la trazabilidad del café desde el cultivo hasta la taza, con la posibilidad de buscar aseguramiento de la calidad en finca, los procesos de agregación de valor, la logística y torrefacción hasta el consumidor final.

- **Trace. Coffee ® ([www.trace.coffee](http://www.trace.coffee))**

Trace.Coffee ® es una plataforma de trazabilidad en cadenas de producción y suministro, así como de mercadeo digital que promueve cafés y sus historias socio productivas, combinando tecnologías de captura de información en campo, manejo dinámico de contenidos digitales y nuevos medios para crear una experiencia única, transparente y personal al consumidor.

El objetivo de Trace.Coffee es conectar a los compradores con los productores de café y sus historias, aumentando la transparencia, la visibilidad y el acceso a mercados nacionales e internacionales. Para ello, se captura información en el proceso de producción y se crean y publican las Historias Digitales del café y de la gente que hace parte de la cadena productiva. Estas historias están enfocadas a mostrar las cualidades humanas y sociales que existen detrás de cada café, así como la información técnica del proceso de producción y las características únicas de la región y del café que se produce.

El uso de tecnologías de la información y comunicaciones e internet trae consigo beneficios que impactan las dificultades del relevo generacional, la innovación de procesos y el incremento en las capacidades de los ciudadanos rurales en el agronegocio del café. El sector

agropecuario colombiano requiere estrategias tecnológicas que permitan construir y afianzar relaciones directas entre productores y clientes finales, procurando unos menores márgenes de intermediación, mayores ingresos para los productores y mejores precios para los consumidores finales.

- **La Calidad del café**

La calidad en el café se entiende como el conjunto de cualidades físicas y sensoriales que tiene el grano y que se desarrollan durante la producción, se deben conservar durante los procesos en la finca y se deben expresar en la bebida; estas características están asociadas a los procesos de producción en finca, especialmente al manejo de cultivo, calibración y limpieza de equipos, procesos de fermentación, clasificación, lavado, secado y condiciones de almacenamiento. En la actualidad los caficultores colombianos restan importancia a los problemas que tienen y no implementan herramientas confiables y de bajo costo para identificar las variables que más inciden directamente en la calidad del producto, debido a los bajos precios de mercado. La anterior situación es originada principalmente por el bajo nivel de transferencia y adopción de tecnología de los productores, debido a la desinformación acerca de los avances técnicos de Cenicafé, a la falta de oferta comercial de dichas herramientas y equipos y a los elevados costos de los mismos, cuando están disponibles tecnológicamente en el mercado.

### **Objetivo General**

Desarrollar un modelo de apropiación tecnológica en núcleos demostrativos de innovación para café especial en Colombia.

### **Objetivos Específicos**

- Implementar un modelo de innovación tecnológica en núcleos demostrativos productivos para el incremento de la productividad y el aseguramiento de la calidad del café.
- Desarrollar procesos de apropiación tecnológica a nivel de cinco núcleos productivos y sus áreas de influencia, con el fin de lograr la interiorización e implementación de nuevas tecnologías.

- Construir y promover historias digitales socioproductivas de cafés especiales en mercados internacionales, para cada núcleo productivo utilizando la plataforma de Trace.Coffee.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se implementó una metodología participativa con agricultores, la cual demostró ser una estrategia fundamental para lograr procesos de apropiación tecnológica en comunidades rurales.

El proyecto contempló cuatro componentes estratégicos 1) Innovación en finca; 2) Modelo de trazabilidad; 3) Estrategia de relevo generacional y 4) Exportación de microlotes de cafés especiales; estos componentes se ejecutaron simultáneamente en tres fases.

En la Fase 1 se conformaron los núcleos de trabajo en los municipios, con el apoyo del servicio de extensión de la Federación de Cafeteros de Colombia. Se seleccionaron los grupos de máximo 30 caficultores, incluyendo 1 líder. Los líderes fueron los finalistas del concurso taza de la excelencia, quienes aceptaron participar con sus fincas como unidades demostrativas.

Se realizó la preparación y dotación de las fincas demostrativas con herramientas, equipos y demás elementos para la etapa de producción. El proyecto entregó un refractómetro, un selector de arvenses, un kit poscosecha plus (paleta lava cafe, rastrillo mezclador de café, medidor de fermentación y medidor de humedad) y un kit de secado solar de café. Adicionalmente se entregaron kit poscosecha plus, a los restantes 29 vecinos, con el fin de lograr la réplica y apropiación de los procesos en sus fincas.

En la Fase 2 se emprendieron los procesos de formación de los caficultores y sus familias, se desarrollaron talleres de cosecha, beneficio húmedo, secado, almacenamiento y cultura digital.

Los talleres se desarrollaron en días de campo, en los cuales se realizaron presentaciones técnicas y prácticas para cada uno de los procesos mejorados. Todos los talleres desarrollados

fueron evaluados, así como los resultados de la calidad de las muestras de café producidas en las fincas participantes, al inicio del proyecto para caracterizar la línea base y después de la implementación de las innovaciones para evaluar las mejoras logradas. Como apoyo, se elaboró una cartilla guía de mejores prácticas, la cual fue entregada a los caficultores participantes.

En esta fase también se capturó información en campo para la construcción de las historias digitales en Trace.Coffee. Para esto se visitaron todas las fincas núcleo, se realizaron las entrevistas a los caficultores y se tomaron muestras de suelos, foliares, café pergamino y se realizaron videos y fotografías, tanto de las personas como de la región y la finca desde un drone.

En la Fase 3 se crearon y publicaron las historias digitales y se desarrolló el análisis de muestras y búsqueda de clientes en ferias internacionales e internet. Toda la información disponible fue empleada en una estrategia de mercadeo digital y posicionamiento, la cual fue monitoreada y analizada.

En el módulo de fortalecimiento a las capacidades en uso y conocimiento de las TIC, se llevaron contenidos digitales del sector agropecuario (Agronet) a los productores participantes, se socializó la historia digital de cada núcleo y se resaltaron las ventajas de ampliar el acceso a mercados mediante cultura digital. Cada productor líder recibió tarjetas de presentación con los datos de contacto y vínculo a la página web en [www.trace.coffee](http://www.trace.coffee).

### **RESULTADOS E IMPACTOS GENERADOS POR EL PROYECTO**

Durante el desarrollo del proyecto se evidenció un proceso exitoso de uso y apropiación, tanto de tecnologías como de conocimiento por parte de los productores, dado que se logró que conocieran e implementaran nuevas herramientas y tecnologías sencillas y económicas, acorde a sus necesidades y condiciones de vida. Evidencia de ello son las mejoras en las fincas de los núcleos implementados, donde se encontraron incrementos en las calificaciones

de las pruebas de taza con respecto a la línea base, mejora del factor de rendimiento en trilla y reducción en la cosecha de granos inmaduros.

Muchos de los productores beneficiarios desconocían al inicio del proyecto, herramientas (kit poscosecha), equipos (refractómetro) y tecnologías diferentes (secado solar usando marquesinas), para terminar dominando su manejo y entendiendo la importancia del control del proceso y de su principio de funcionamiento.

Otro aspecto interesante de mencionar es el interés mostrado por niños y jóvenes hacia los temas asociados a la producción y aprovechamiento de herramientas digitales para la comercialización de café. Algunos jóvenes con conocimientos tomaron roles de educadores de las personas que no estaban relacionados con los procesos. Esto comprueba que es posible lograr que los jóvenes permanezcan en el campo y colaboren con la empresa cafetera de sus padres, siempre y cuando se les reconozca el trabajo realizado y se implementen estrategias didácticas para vincularlos.

El tercer gran impacto logrado con el proyecto, es que el caficultor se siente nuevamente incluido en la cadena de valor, debido a la visibilización de su café a través de Tracce.Coffe y a la generación de relaciones más directas y cercanas entre productores y consumidores. De esta forma, se apropia de su responsabilidad de mantener y garantizar la calidad de su producto a través del control de los procesos, ya que es su cara, su historia y la de su café, la que aparece en internet y por la que debe responder.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La caracterización inicial de la línea base del proyecto ratificó la necesidad de implementar herramientas tecnológicas para cada proceso productivo. El 52% de las muestras presentaron defectos de taza originados en el beneficio húmedo; el 79,9% de las muestras mostraron humedad fuera del rango de comercialización debido a procesos deficientes de secado, mientras que el 38,5% de las muestras presentaron astringencia en la bebida debido a problemas en la recolección. Con la entrega de infraestructura y el desarrollo de las jornadas



de entrenamiento en proceso se logró mejorar los procesos productivos y reducir a un 22% los defectos debido al beneficio, a 35% los defectos de secado y reducir la presencia de astringencia debido a cosecha de frutos inmaduros, a un 12% del total.

Al inicio del proyecto ningún caficultor contaba con vínculos a mercados nacionales o internacionales de especialidad; sin embargo con el desarrollo del mismo se obtuvieron microlotes de los cafés con perfiles de taza especiales, los cuales fueron presentados a clientes internacionales, logrando un vínculo comercial de largo plazo de 10 caficultores miembros de los núcleos desarrollados de 5 departamentos, con clientes tostadores en tres países (Francia, Estados Unidos y Colombia). Es de resaltar que por 3 años consecutivos, estos vínculos se vienen estrechando y creando nuevos espacios para nuevos caficultores de la estrategia, con nuevos tostadores. Es importante mencionar que los sobrepagos recibidos por los productores se encuentran entre el 20% y el 45% con relación a los precios de compra en las regiones.

La capacitación en cultura digital tuvo un impacto considerable en los caficultores, si se tiene en cuenta que actualmente cuentan con correos electrónicos, que incorporaron a su vida diaria, llegando al grado de solicitar y enviar información a través de esta herramienta.

## CONCLUSIONES

La metodología de núcleos de innovación tecnológica, a través de la cual se trabaja con un productor líder, al cual sus vecinos productores pueden observar para aprender y reconocer las ventajas de la implementación de metodologías diferentes a las convencionales, resultó ser una estrategia efectiva, puesto que el conocimiento e interés generado en los beneficiarios secundarios logró que ellos mismos se preocuparan por identificar las fallas en sus procesos, realizar cambios y presentar muestras de café para verificar resultados.

La responsabilidad de ser el beneficiario principal ocasionó que los productores tomaran, en la mayoría de los casos, un rol de líder y de exigencia por lograr los mejores resultados posibles tanto propios como de sus grupos de trabajo.

La plataforma Trace.Coffee ha demostrado ser una herramienta útil para conectar clientes finales con productores, logrando estrechar la brecha de comercialización. Los clientes se acercan a los productores y esto permite nuevas oportunidades de venta y monetización, precios más justos y mejor distribución del valor creado.

La posibilidad de tener el café en internet con la cara del productor, generó un sentido de pertenencia y propiedad en el productor, incentivando el mejoramiento y aseguramiento de la calidad del café. A su vez, llevando el concepto de café de origen a un término más personal, exclusivo, único y con impacto real en lo social.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Innovakit SAS. (2017). Cómo ser un caficultor especial. Gobernación de Cundinamarca. Mosquera. Cundinamarca.

Moreno, A. (2017). Cuatro retos para reanimar economía en el resto del año. Periódico El Tiempo. Mayo.

Revista Dinero. (2017). Colombia necesita mayor productividad cafetera para alcanzar las metas a 2020. Febrero.

## **DISCRIMINACIÓN ESPECTRAL DE HOJAS DE SORGO (SORGHUM VULGARE L.) NO INFESTADAS E INFESTADAS POR PULGÓN DEL COGOLLO (*Rhopalosiphum maidis*).**

### **SPECTRAL DISCRIMINATION OF SORGHUM LEAVES (*Sorghum vulgare L.*) NOT INFESTED AND INFESTED BY CORN LEAF APHID (*Rhopalosiphum maidis*)**

**Aguilera-Hernández, R.A.<sup>1</sup>, Saldaña-Robles, A.<sup>2</sup>, Salas-Araiza, M.D.<sup>3</sup>, Saldaña-Robles, A.I.<sup>2</sup>, Trejo-Durán, M.<sup>4</sup>, Martínez-Jaime, O.A.<sup>3</sup>, Saldaña-Robles, N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado en Biociencias. División de Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. México. E-mail: auhr870305@hotmail.com; ruth.aguilera@ugto.mx

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Agrícola. División de Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. México. E-mail: saldanar@ugto.mx

<sup>3</sup>Departamento de Agronomía. División de Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. México.

<sup>4</sup>Departamento de Estudios Multidisciplinarios. División de Ingenierías. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. México.

### **RESUMEN**

El sorgo (*Sorghum vulgare L.*) es un cultivo base para la alimentación pecuaria en México. Sin embargo, el ataque de las plagas de áfidos, tal como el pulgón del cogollo (*Rhopalosiphum maidis*), su detección y control tardíos debido a su localización en el cogollo, causa la reducción de la producción nacional de sorgo. El uso recurrente de pesticidas aumenta los costos de producción, contaminación ambiental y del cultivo. El presente trabajo propone el uso de espectrometría con el objetivo de discriminar espectralmente las hojas de sorgo no infestadas e infestadas por *R. maidis*. Se obtuvieron las firmas espectrales de hojas de sorgo con el espectrómetro Ocean Optics HR 4000 UV-VIS. Los datos se procesaron, graficaron y compararon en Excel ® 2016. Se concluyó que la firma espectral de las hojas sanas es distinta a la de las hojas con infestación, ya que éstas últimas aumentan su reflectancia en visible y la disminuyen en el infrarrojo cercano. Se calculó además la relación de las hojas infestadas con respecto a las hojas sanas. Se encontró que los rangos espectrales de 420-430 nm, 495-505nm, 545-555 nm y 680-690 nm, son los mas sensibles a la infestación. Por último se calculó un índice espectral y se correlacionó con el

número de pulgones, se obtuvo un coeficiente de  $R^2$  de 0.96. Lo anterior indica que es posible discriminar espectralmente las hojas no infestadas de las infestadas. Sin embargo es necesario realizar mas investigación con el fin de comprobar la repetibilidad de la investigación.

**Palabras clave:** discriminación espectral, firma espectral, espectrómetro, índice espectral

### ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum vulgare* L.) is a base crop for cattle feed in Mexico. However, the attack of aphid pests, such as the corn leaf aphid (*Rhopalosiphum maidis*), its late detection and control due to its location in the bud, causes the reduction of the national production of sorghum. The recurrent use of pesticides increases the costs of production, environmental and crop pollution. The present work proposes the use of spectrometry with the objective of spectrally discriminating sorghum leaves not infested and infested by *R. maidis*. The spectral signatures of sorghum leaves were obtained with the Ocean Optics HR 4000 UV-VIS spectrometer. The data were processed, plotted and compared in Excel ® 2016. It was concluded that the spectral signature of the healthy leaves is different from that infested ones, since the latter increase their reflectance in visible and decrease it in the near infrared. The ratio of the infested leaves to the healthy leaves was also calculated. It was found that the spectral ranges of 420-430 nm, 495-505nm, 545-555 nm and 680-690 nm, are the most sensitive to infestation. Finally, a spectral index was calculated and correlated with the number of aphids, obtaining a  $R^2$  coefficient of 0.96. The foregoing indicates that it is possible to discriminate spectrally the leaves not infested of the infested ones. However, it is necessary to carry out more research to verify the repeatability of the investigation.

**Keywords:** spectral discrimination, spectral signature, spectrometer, spectral index

### INTRODUCCIÓN

El sorgo es considerado como uno de los granos básicos de alimentación humana en países subdesarrollados, y pecuaria en países en desarrollo como México, pues a partir de su molienda se elaboran forrajes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1997; Pérez *et al.*, 2010).

Dentro de las plagas que atacan al cultivo de sorgo se encuentran los pulgones amarillo (*Melanaphis sacchari*) y del cogollo (*Rhopalosiphum maidis*), entre otros. Si bien este último causa mayores estragos en el cultivo de maíz, también daña al cultivo de sorgo. Al alimentarse de las plantas, el pulgón del cogollo secreta una mielecilla que, aunado a la presencia de polvo ambiental, generan una capa negra en la hoja, lo que disminuye su capacidad fotosintética y con ello afectarse tanto el crecimiento como la productividad del cultivo (Geraud, 1970; Ramírez, 1993; Michels Jr, y Matis, 2008).

Con el fin de disminuir las poblaciones de pulgones en sus parcelas, los agricultores hacen uso de pesticidas de origen sintético, mismos que al no aplicarse en las dosis y forma recomendadas, representan una fuente de contaminación para el agua, suelo y aire. Aunado a lo anterior, el uso de insecticidas químicos encarece los costos de producción y disminuye la rentabilidad del cultivo (Michels Jr, y Matis, 2008).

Por otro lado, la agricultura de precisión propone el uso de nuevas tecnologías aplicadas a la producción de alimentos con el fin de disminuir el uso de insumos agrícolas, entre ellos los agroquímicos (Lan *et al.*, 2009; Garibaldi *et al.*, 2017). La espectrometría es una técnica espectroscópica que permite obtener información espectral de un objetivo y compararla con un estándar previamente identificado, por medio de su reflectancia o absorbancia. En el caso de la agricultura, esta técnica permite obtener las firmas o huellas espectrales de plantas “sanas” y “estresadas” y compararlas entre sí, para identificar los cambios en las curvas que se obtienen. De esta manera, cada tipo o causa de estrés, reflejará un comportamiento único que permitirá obtener las longitudes de onda donde ocurren esos cambios (Paz *et al.*, 2014). La detección y control en etapas tempranas de infestación (umbral económico 50 pulgones por hoja por planta) de la plaga de pulgón del cogollo en sorgo, puede ser posible con el uso de la técnica antes mencionada. Por lo anterior, el presente trabajo propone el uso de espectrometría con el objetivo de discriminar espectralmente las hojas de sorgo no infestadas e infestadas por *R. maidis*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero, en las instalaciones de la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato, ubicada en la Ex Hacienda El Copal, Carretera Irapuato-Silao km. 9.0, Irapuato, Guanajuato, México.

La medición espectral de las hojas se realizó los días 15 y 16 de noviembre de 2017, con el cultivo en las etapas fenológicas 4 y 5. Se utilizó el espectrómetro Ocean Optics HR4000 UV-VIS (Ocean Optics ® Inc.) cuyo rango espectral va desde los 190 hasta 1100 nm. Se seleccionaron 5 hojas bandera de cada nivel de infestación, los cuales fueron: sin pulgón, 0-5 pulgones por hoja; baja densidad, 6-50 pulgones por hoja; media densidad, 51-100 pulgones por hoja; alta densidad, 101-200 pulgones por hoja y muy alta densidad, 201+ pulgones por hoja (figura 1).



**Figura 1. Hoja con muy alta densidad de pulgón**

La medición de la reflectancia espectral de las hojas se realizó por la noche en un horario de 21:00 a 01:00 h, con el fin de disminuir el efecto de las variaciones de luz sobre las mediciones del equipo. El equipo se calibró tomando como base los parámetros de 8s para el tiempo de integración, 10 exploraciones promedio y 5 como ancho del espectro. Se realizaron 5 mediciones de la misma hoja en el mismo lugar ubicado cerca de la punta. Una vez que se

realizaron las lecturas con el espectrómetro, los datos se importaron a Excel® 2016 para procesarlos y analizarlos.

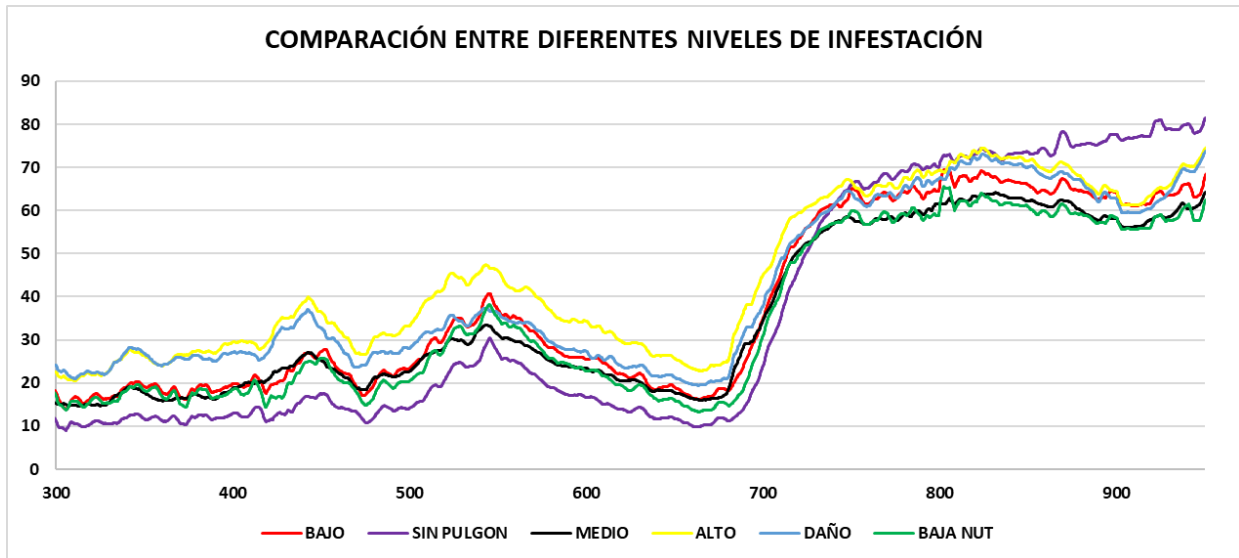
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido al ruido que otorga el equipo Ocean Optics HR4000 antes de los 300 nm y después de los 1000 nm, se aplicó una condicional en la cual esos datos se hicieron cero. Para los datos entre los 300 y 1000 nm se calcularon las medianas de 40 datos y posteriormente se les aplicó otra condicional con la que se calculó la desviación estándar entre 0.8 y 1.2, de esta manera se suavizaron los datos. Este procedimiento se realizó para los datos de todas y cada una de las mediciones.

Los datos suavizados, se graficaron por nivel de infestación y se compararon entre sí para revisar la variabilidad entre cada una de las mediciones. Se observó que a pesar de que las mediciones se realizaron en el mismo lugar de la hoja, existe una cierta variación en la reflectancia capturada por el espectrómetro. Esto se cree que puede deberse a la sensibilidad del aparato a los cambios de luz en el entorno de medición. Sin embargo, se necesitará realizar mayor investigación para conocer los factores que causan dicha variación a las mediciones.

Una vez que se tuvieron todas las firmas espectrales de los diferentes niveles de infestación se obtuvieron y graficaron sus promedios con el fin de detectar los cambios en las propiedades espectrométricas de las hojas de sorgo (figura 2).



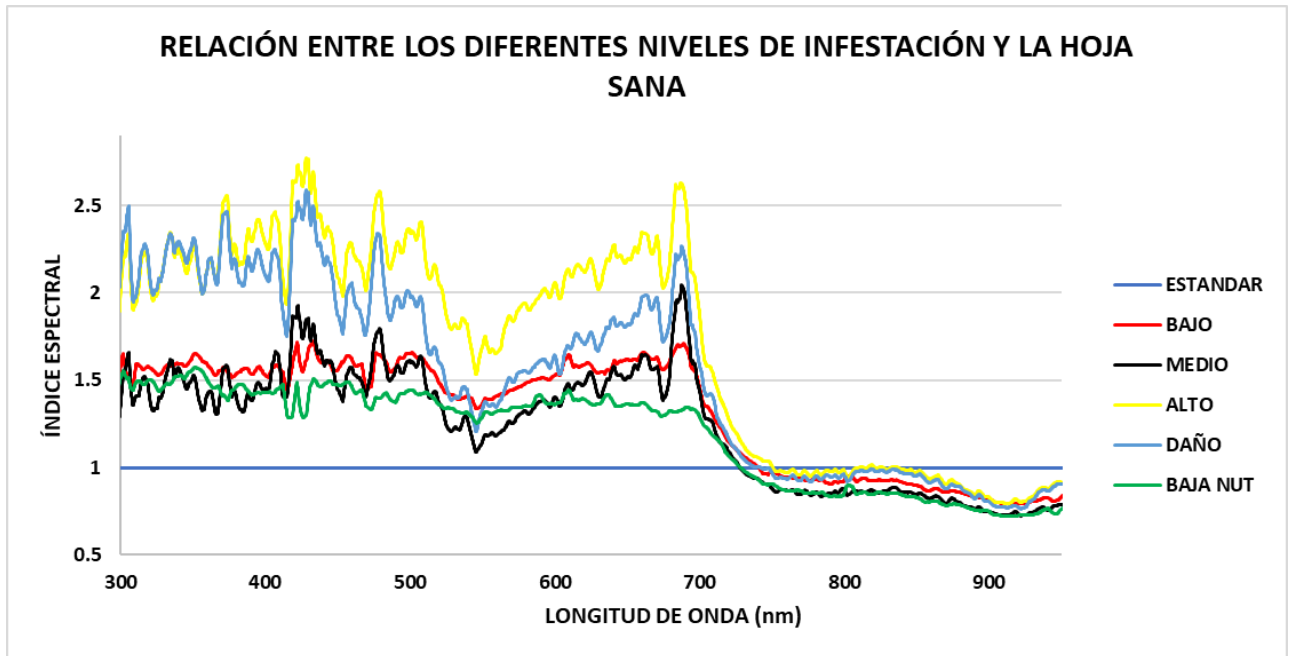


**Figura 2. Comparación entre diferentes niveles de infestación.**

La línea verde corresponde a la reflectancia de una hoja sana, es decir sin ataque de la plaga de pulgón amarillo y cuya reflectancia es la más cercana al comportamiento de una hoja sana descrito en la bibliografía. Se observa también que las hojas que presentan algún tipo de desnutrición tienen una firma espectral distinta a las plantas cuya nutrición está totalmente cubierta. En el caso de las mediciones de las hojas infestadas por pulgón del cogollo, se alcanza a percibir que a mayor infestación mayor será también la reflectancia de la hoja en el rango visible, sin embargo, en el rango del infrarrojo cercano la reflectancia disminuye y se encuentra por debajo de la reflectancia de las hojas sanas. Se observa además que, en las hojas con infestación existe un valle en los 900 nm aproximadamente, mismo que no se presenta en las hojas sanas (figura 2).

A pesar de encontrar diferencias visuales entre las firmas espectrales de las hojas sanas, desnutridas y con infestación en distintos niveles, se tomó la decisión de realizar una relación matemática, dividiendo las reflectancias de la hoja desnutrida y de los diferentes niveles de infestación entre la de la hoja sana (figura 3).





**Figura 3. Relación entre la reflectancia de los distintos niveles de infestación y la hoja sana.**

En la figura 3, se aprecia que la información espectral de todas las mediciones en el rango del infrarrojo cercano muestra poca variabilidad al momento de obtener la relación. Con ello se puede concluir que el espectro infrarrojo cercano ofrece poca información que permita discriminar entre hojas infestadas de no infestadas. Sin embargo, es necesario realizar más investigación con el fin de corroborar lo mencionado anteriormente. Por otro lado, en el rango visible, se observa que la variabilidad entre tratamientos es mayor. Además, se logra distinguir el comportamiento de la hoja desnutrida con respecto a las infestadas, ya que la primera presenta un comportamiento lineal descendente conforme aumenta la longitud de onda. Caso contrario al comportamiento de la reflectancia de las hojas infestadas, mismas que muestran picos de reflectancia a los 420-430 nm, 495-505nm, 545-555 nm y 680-690 nm (centro en los 425 nm, 500 nm, 550 nm y 685 nm, con ancho de banda de 10 nm, respectivamente) y los cuales se alejan más del comportamiento de la hoja sin pulgón o sana conforme aumenta el nivel de infestación en la hoja.

Una vez que se detectaron los rangos espectrales que se cree permiten discriminar entre hojas sanas e infestadas por pulgón amarillo, se calculó el siguiente índice espectral:

$$I = 2 \frac{R_{P550}}{R_{SP550}} - \frac{R_{P685}}{R_{SP685}} - \frac{R_{P425}}{R_{SP425}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$R_P$ : representa la reflectancia de hojas con pulgón.

$R_{SP}$ : representa la reflectancia de hojas sin pulgón.

Valores numéricos: representan los centros de los rangos espectrales. Cabe mencionar que el último término de la ecuación cambia dependiendo de la longitud de onda a utilizar (425 o 500 nm). Los datos que se obtuvieron del cálculo de la ecuación 1, se graficaron en relación con el número de pulgones promedio de acuerdo con el nivel de infestación en las hojas y se calculó el coeficiente de correlación polinómica  $R^2$  (figura 4).

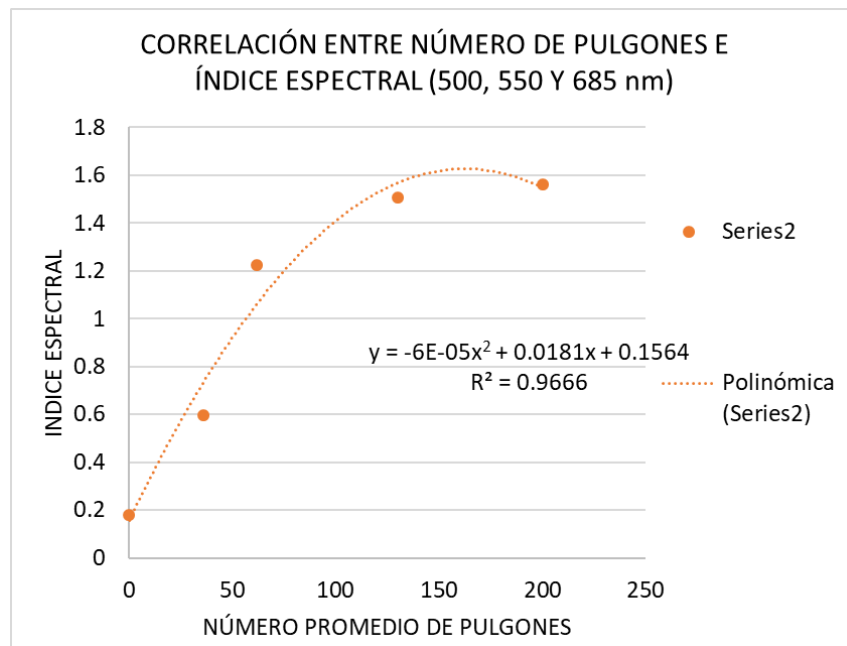


Figura 4. Correlación entre número de pulgones e índice espectral (500, 550 y 685 nm)

### CONCLUSIÓN

El índice que presenta el valor de  $R^2$  (0.967) más alto, es el que se calcula a partir de los rangos espectrales con centro en los 500, 550 y 685 nm. Sin embargo, de ser necesario el uso

del rango espectral con centro en los 425 nm puede ser utilizado sin mayor problema ( $R^2$  de 0.664).

Lo anterior indica que es posible realizar la discriminación espectral de las hojas de sorgo infestadas de las no infestadas por pulgón del cogollo, además de marcar la pauta a seguir en la presente investigación, debido a que en la bibliografía consultada la detección de las longitudes de onda que permiten discriminar entre las hojas sanas e infestadas, se hace directamente sobre las huellas espectrales. En cambio, con el cálculo de la relación de la reflectancia entre las hojas infestadas y las hojas sanas, se pudieran obtener con mayor certeza las longitudes de onda que permiten su discriminación.

### REFERENCIAS

Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., y Breeze, T. D. (2017). *Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security*. Trends in ecology & evolution. 32(1): 68-80.

Geraud, F. (1970). *Insectos que Atacan el Sorgo Granero, Sorghum vulgare Pers, en el Estado Zulia, Venezuela*. Revista de la Facultad de Agronomía, 1(3): 13-30.

Lan, Y., Huang, Y., Martin, D. E., y Hoffmann, W. C. (2009). *Development of an airborne remote sensing system for crop pest management: system integration and verification*. Applied engineering in agriculture, 25(4), 607-615.

Michels Jr, G. J., y Matis, J. H. (2008). *Corn leaf aphid, Rhopalosiphum maidis (Hemiptera: Aphididae), is a key to greenbug, Schizaphis graminum (Hemiptera: Aphididae), biological control in grain sorghum, Sorghum bicolor*. European Journal of Entomology. 105(3): 513.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1997). *La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas*. (1ra. edición). Roma, Italia: Autor.

Paz P. F., Romero S. M., Palacios V. E., Bolaños G. M., Valdez L. J., y Aldrete, A. (2014). *Alcances y limitaciones de los índices espectrales de la vegetación: marco teórico*. Terra Latinoamericana. 32(3): 177-194.

Pérez, A, Saucedo, O, Iglesias, J, Wencomo, Hilda B, Reyes, F, Oquendo, G, y Milián, Idolkys. (2010). *Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)*. Pastos y Forrajes. 33(1): 1-26.

Ramírez, C. (1993). *Control de plagas agrícolas*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1ra. Edición). Yucatán, México:Infographic.

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LECHE DE CABRA EN HUILA-COLOMBIA

### PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF GOAT MILK IN HUILA-COLOMBIA

Barrios-Rodríguez Yeison<sup>1</sup>; Gutierrez-Guzman Nelson<sup>1</sup>; Amorocho-Cruz Claudia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Surcolombiana- Neiva, Facultad de Ingeniería, Centro Surcolombiano de  
Investigación en Café “CESURCAFÉ”, yfbr06@gmail.com

**RESUMEN.** Se realizó caracterización fisicoquímica y microbiológica de leche de cabra producida en granjas del norte del Huila-Colombia, mediante la evaluación de pH, Acidez, cenizas, viscosidad, sólidos solubles, sólidos totales, color y aislamiento de bacterias ácido lácticas (BAL) en agar MRS y evaluación del efecto inhibitorio sobre el crecimiento de dos cepas de *Klebsiella* mediante tres tratamientos: en presencia de células (T1) y ausencia de células en condiciones ácidas (T2) y neutras (T3). Los resultados se analizaron mediante un ANOVA simple con un nivel de confianza del 95%. Se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre las propiedades fisicoquímicas de las muestras de leche de cabra y que la presencia de las células BAL fue efectiva en la inhibición del crecimiento de *Klebsiella*. Se concluye que el efecto inhibitorio de las BAL aisladas es dependiente de la cepa láctica y patógena.

**Palabras clave:** Bacterias lácticas, ácidos orgánicos, Bacteriocinas, efecto inhibitorio

**ABSTRACT.** Physicochemical and microbiological characterization of goat milk produced in farms of northern Huila-Colombia was carried out by evaluating pH, acidity, ash, viscosity, soluble solids, total solids, color and isolation of lactic acid bacteria (BAL) in agar. MRS and evaluation of the inhibitory effect on the growth of two strains of *Klebsiella* by three treatments: in the presence of cells (T1) and absence of cells under acid (T2) and neutral (T3) conditions. It was found that there are statistically significant differences between the physicochemical properties of goat milk samples and that the presence of BAL cells was

effective in inhibiting the growth of *Klebsiella*. It is concluded that the inhibitory effect of BAL isolated is dependent on the lactic and pathogenic strain.

**Keywords:** *Lactic bacteria, organic acids, Bacteriocins, inhibitory effect*

## INTRODUCCIÓN

La cadena caprina de Colombia en general se caracteriza por su vinculación a tradiciones culturales y regionales, con una estructura de producción de tipo artesanal caracterizada por un nivel tecnológico precario en muchos de sus factores y con dificultades para conectarse a los circuitos de comercio de insumos y productos (Gonzales, Manrique, y Grajales, 2015). En los últimos años, se han tratado de implementar estrategias para mejorar las condiciones de este sector en Colombia; sin embargo todavía no se cuenta con información suficiente sobre el estado y potencialidades de este sector (Cadena Productiva Ovino-Caprina Nacional, 2012), lo que hace necesario intervenir a través de la construcción de cadenas de valor que estimulen el crecimiento de la demanda, el desarrollo de políticas y la calidad de los productos, garantizando una participación activa de los productores por medio de productos de valor agregado que aseguren el incremento de los ingresos y el empleo familiar (Moreno y Grajales, 2014).

Tal vez el producto con mayor potencial económico en este sector de especies menores es la producción de leche, la cual en países como España es de gran importancia entre los consumidores, representando para el 2014 el 25% del valor de la producción láctea nacional (INLAC, 2015). En países como Estados Unidos de América, los derivados lácteos de la cabra como yogurt son cada vez más populares, por sus excelentes propiedades nutritivas y capacidad de reforzar las bacterias benéficas del tracto intestinal, restaurando el equilibrio microbiológico (Flores, Pérez, Basurto y Jurado, 2009). Lo anterior demuestra un alto potencial de la leche de cabra para explotar en pro de la seguridad alimentaria, en el control de patógenos bacterianos presentes en productos alimenticios contaminados, los cuales representan un gran problema de salud pública en los países en desarrollo (Haghi *et al*, 2015). Así, en el presente estudio se evaluaron de manera preliminar muestras de leche de cabra

provenientes de 4 granjas diferentes, producida y comercializada en el norte del departamento del Huila-Colombia, teniendo en cuenta el potencial antimicrobiano presente en bacterias lácticas aisladas de cada una de las muestras, como un factor que permita afianzar las grandes potencialidades de este producto y sea considerado en futuras investigaciones de productos alimenticios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Muestreo

Se recolectaron muestras de leche de cabra en cuatro sitios al norte del Huila (Colombia), de acuerdo a la NTC 666. El 100% de las razas de cabra fueron tipo Saanen, con edades entre 1-4 años, con una producción promedio de 1 litro/día, en libre pastoreo.

### 2.2 Análisis fisicoquímicos

Se determinaron los parámetros de pH con un potenciómetro (OHAUS Starter 5000), sólidos solubles mediante un refractómetro (ATAGO PR-201 alpha), acidez titulable, cenizas y sólidos totales siguiendo los protocolos establecidos en NTC 4978, AOAC 923.03 y NTC 4979, respectivamente. La densidad de cada una de las muestras se determinó mediante el método del picnómetro, y color de acuerdo a la metodología descrita por McDermot *et al*, 2016 con un colorímetro (Konica Minolta CR-410), evaluando de forma directa en una muestra de 70 ml los parámetros L, a\*, b\*, del sistema CIE (Comisión International de Eclairage), al igual que los parámetros índices de blancura (WI) e índice de amarillo (YI). Finalmente se evaluó viscosidad por la metodología propuesta por Marion *et al*, 2015, con un reómetro digital (Brookfield DV-I -Brookfield Engineering Laboratories Inc.).

### 2.3 Aislamiento de Bacterias Ácido Lácticas (BAL)

El aislamiento se llevó a cabo mediante diluciones seriadas en caldo MRS (Man Rogosa y Sharpe - Merck KGaA, ref. 64271 Darmstadt, Alemania). Para la siembra se inoculó 1 ml de cada una de las diluciones en agar MRS (Merck KGaA, ref. 64271 Darmstadt, Alemania), y se llevó a incubación por 24 horas a 37°C. Posteriormente se aislaron colonias representativas de cada muestra, a las cuales se le realizaron pruebas bioquímicas de comprobación: catalasa,

oxidasa, producción de sulfuros, movilidad y utilización de citrato como única fuente de energía-carbono.

### 2.3.1 Efecto inhibitorio de BAL frente a *Klebsiella*

Se evaluó el efecto inhibitorio de BAL frente a dos cepas de *Klebsiella* (Tabla 1), mediante los tratamientos en presencia de células (T1) y ausencia de células a pH ácido (T2) y pH neutro (T3). Las cepas de *Klebsiella* se ajustaron a escala equivalente de 1% estándar de McFarland equivalente a  $3.0 \times 10^8$  UFC/ml y para el caso de las BAL se ajustaron a escala 0.5% estándar de McFarland equivalente a una concentración de  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml.

Para el tratamiento de presencia de células las cepas patógenas fueron sembradas en medio XLD (DIBICO, México), y se incubaron por 24 horas a 37 °C. Después de incubación, cada cepa se resuspendió en Agua de peptona (Merck KGaA, ref. 64271 Darmstadt, Alemania), de las cuales se tomó una alícuota de 100 µl y se extendió sobre una placa de agar Plate Count (PCA – Merck KGaA, ref. 64271 Darmstadt, Alemania). De cada cepa BAL se obtuvieron discos de 7 mm de diámetro cortándolos directamente con un sacabocados estéril de un cultivo en masa de 24 horas en agar MRS. Los discos se depositaron sobre la placa de agar PCA donde previamente se había extendido el patógeno. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas.

**Tabla 1. Codificación Cepas patógenas**

Código	Alimento Procedente	Método Bioquímico	Molecular
<i>Klebsiella</i> AVA	Arepa de maíz de venta ambulante.	citrato de Simmons, SIM (Sulfuro-Indol-Motilidad),	técnica de extracción de ADN por Boiling
<i>Klebsiella</i> CSS	Salpicón cafetería de la facultad de salud Universidad Surcolombiana	TSI (Triple Azúcar Hierro) y Urea	realizando PCR convencional

Para el tratamiento de ausencia de células se partió de un cultivo de 24 horas de cada cepa láctica en agar MRS, y se inoculó una alícuota en tubos de 9 ml de caldo MRS, luego se incubó a 37°C. Después de 24 horas, se tomó una alícuota de 5 ml del cultivo líquido, se centrifugó a 6.000 rpm, durante 10 minutos (Hettich -1800-01), y se esterilizó mediante el



uso de filtros con membrana de nitrocelulosa y 0.22  $\mu\text{m}$  de diámetro (Minisart Syringe Filters- Sartorius). Mediante un sacabocados estéril, se hicieron pocillos de 7 mm de diámetro en placas de agar PCA donde previamente se había extendido el patógeno. En cada pocillo se adicionó 60  $\mu\text{l}$  de cada sobrenadante, realizando ensayos a pH ácido y a pH 7, este último fue ajustado con NaOH 1N. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas.

#### 2.4 *Análisis estadístico*

Se realizó un análisis de varianza simple (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, para observar las diferencias existentes entre los parámetros de cada una de las muestras. Un ANOVA de doble vía fue implementado para analizar la incidencia de los factores cepas BAL y tratamiento, sobre la inhibición. Se utilizó el paquete estadístico StatGraphics Plus 5.1 para Windows (Manugistics, Inc., Rockville MD, USA).

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados de los análisis de cada una de las muestras se presentan en la tabla 2. El análisis estadístico permite observar diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) en los datos obtenidos de cenizas, acidez titulable y viscosidad. En cuanto al color en las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  presentaron diferencias, al igual que los parámetros YI y WI, los cuales se encuentran por debajo de los rangos encontrados por otros autores como (García, 2016), quienes reportaron datos con rangos de 85- 86, -0.85 y -0.89, 5 y 7, respectivamente. Estas diferencias encontradas pueden ocurrir debido a que estos parámetros dependen, en el caso de la luminosidad de los glóbulos de grasa y las micelas de caseína, que dispersan la luz, concentraciones que están influenciadas por los factores genéticos y medio ambientales de los rebaños de cabra.

**Tabla 2.** Propiedades físico químicas de las muestras de leche de cabra

		LCV1	LCV2	LCV3	LCN1
<b>Densidad (g/ml)</b>		1.03 <sup>a</sup> ± 0.01	1.04 <sup>a</sup> ± 0.02	1.03 <sup>a</sup> ± 0.01	1.04 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>pH</b>		6.88 <sup>a</sup> ± 0.02	6.80 <sup>a</sup> ± 0.02	6.90 <sup>a</sup> ± 0.01	6.76 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Sólidos solubles (° Brix)</b>		10.37 <sup>a</sup> ± 0.10	10.17 <sup>a</sup> ± 0.20	9.73 <sup>a</sup> ± 0.20	10.27 <sup>a</sup> ± 0.20
<b>Acidez Titulable (°Dornic)</b>		10.87 <sup>a</sup> ± 0.25	12.24 <sup>b</sup> ± 0.45	14.09 <sup>c</sup> ± 0.55	15.29 <sup>d</sup> ± 0.13
<b>%Sólidos totales</b>		13.14 <sup>a</sup> ± 0.04	12.85 <sup>a</sup> ± 0.08	12.13 <sup>b</sup> ± 0.12	12.95 <sup>a</sup> ± 0.22
<b>%Cenizas</b>		0.74 <sup>a</sup> ± 0.01	0.73 <sup>a</sup> ± 0.01	0.81 <sup>b</sup> ± 0.0	0.85 <sup>b</sup> ± 0.04
<b>Viscosidad (Cp)</b>		1.53 <sup>a*</sup> ± 0.08	1.88 <sup>b*</sup> ± 0.04	1.73 <sup>c*</sup> ± 0.01	1.87 <sup>b*</sup> ± 0.11
<b>Color</b>	<b>L</b>	74.63 <sup>a</sup> ± 0.97	79.09 <sup>a</sup> ± 1.79	77.11 <sup>a</sup> ± 0.86	76.303 <sup>a</sup> ± 1.33
	<b>B*</b>	10.89 <sup>a</sup> ± 0.16	9.48 <sup>b</sup> ± 0.29	11.15 <sup>a</sup> ± 0.41	9.83 <sup>b</sup> ± 0.71
	<b>a*</b>	-2.97 <sup>ab</sup> ± 0.08	-3.2 <sup>b</sup> ± 0.17	-3.09 <sup>b</sup> ± 0.23	-2.55 <sup>a</sup> ± 0.38
	<b>WI</b>	72.15 <sup>a</sup> ± 0.82	76.81 <sup>ab</sup> ± 1.45	74.33 <sup>ab</sup> ± 0.79	74.22 <sup>b</sup> ± 1.46
	<b>YI</b>	20.86 <sup>a</sup> ± 0.14	17.13 <sup>b</sup> ± 0.05	20.66 <sup>a</sup> ± 0.82	18.40 <sup>c</sup> ± 1.55

\*Medias ± Desviación estándar.

Los datos dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

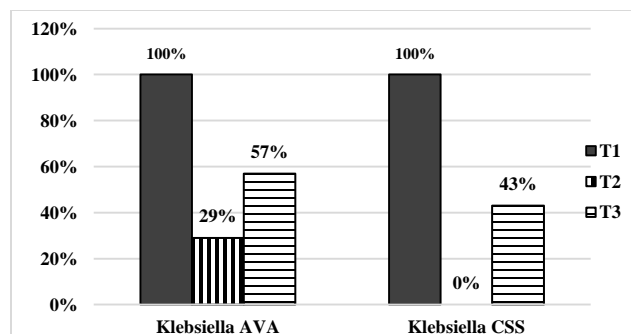
Los valores de viscosidad corresponden a temperatura ambiente 25 °C.

Autores como (Park, 2017; Miocinovic *et al*, 2016) han informado que los valores de viscosidad para este de producto se encuentran entre 2,12-2,2 Cp, considerándose mucho mayor a la de la vaca de 1,70 Cp, otorgada por las diferencias en el contenido de sólidos totales. Los valores encontrados en el presente estudio están en el rango de 1,5-1,9 Cp, un poco más bajos de los reportados anteriormente; sin embargo, hay que tener en cuenta que la viscosidad se ve afectada por el estado y las concentraciones de grasa, proteína, temperatura, pH, y la edad de la producción de leche; la relación de este conjunto de factores puede alterar de una manera drástica los valores esperados de viscosidad para la leche (Quiles y Hevia, 1994). A nivel general la leche es el resultado de varios factores extrínsecos e intrínsecos, siendo la nutrición animal el factor con mayor importancia, ya que variaciones de la dieta pueden traer cambios importantes en la producción y composición de la leche (Salvador y Martínez, 2007). En este contexto en el presente estudio el 100% de las cabras eran

alimentadas diariamente con sal y miel de purga, pero diferencian en el modo de pastoreo y tipo de vegetación en su dieta diaria, donde las mayores diferencias se encuentran en el consumo de vegetación como el pela (*Acacia farnesiana*), el cardo (*Carduus*) y matarraton (*Gliricidia sepium*), administradas en la dieta de las cabras de la leche CV1 y LCV2, pero ausentes en las otras, en las cuales predomina el uso de forrajes verdes y el guasimo (*Guazuma ulmifolia*). Otra diferencia es el tipo de pastoreo; las cabras de la muestra LCN1 y LCV3, se lleva a cabo en zonas llanas, donde predominan las gramíneas forrajeras, mientras en las otras dos es de libre pastoreo en zonas áridas y de altas pendientes.

## 2.5 Capacidad antimicrobiana

El 100% de las cepas lácticas expresaron efecto inhibitorio frente a *Klebsiella* AVA y *Klebsiella* CSS, en el tratamiento en presencia de células. El tratamiento de ausencia de células en condiciones ácidas (T2), mostro que solo un 29% de las cepas lácticas aisladas ejerce actividad antimicrobiana frente a *Klebsiella* AVA, mientras en *Klebsiella* CSS no registró ninguna actividad antimicrobiana por parte de las BAL. En el tratamiento de pH neutro (T3) el 57% y 43% de las cepas lácticas ejercieron actividad antimicrobiana frente a *Klebsiella* AVA y *Klebsiella* CSS, respectivamente como se ilustra en la figura 1.



**Figura 1.** Inhibición de cepas BAL por tratamiento

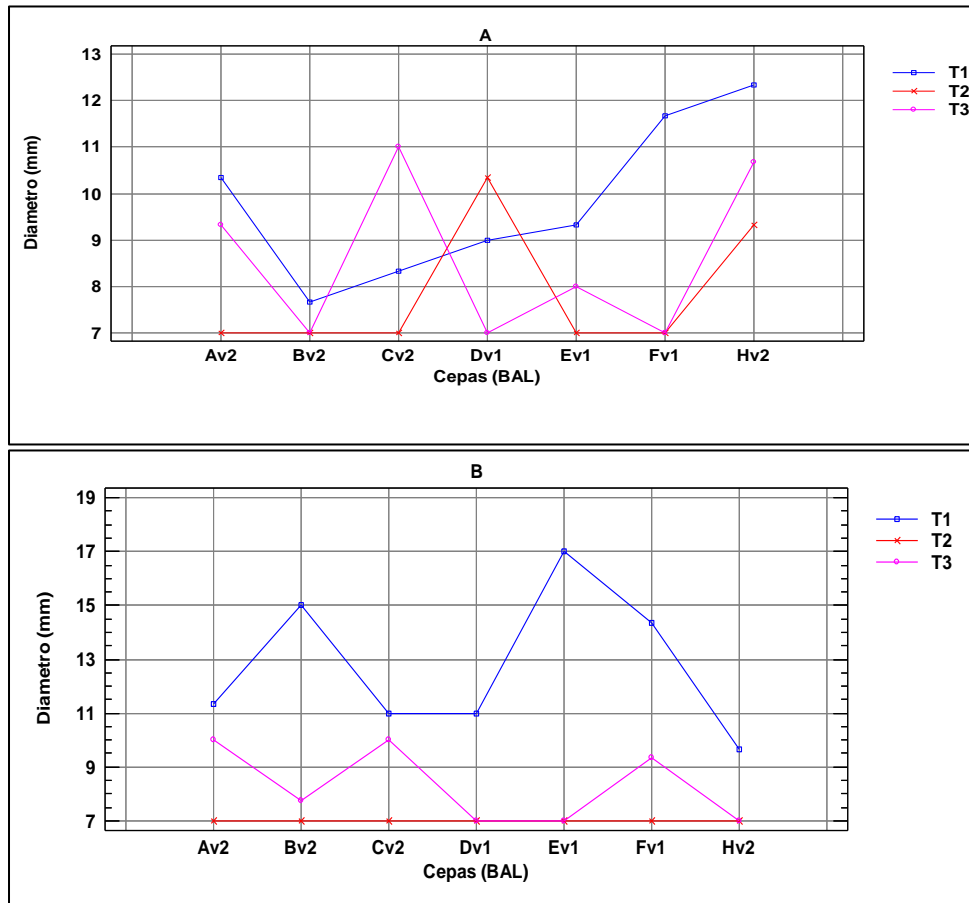
Otros estudios también han demostrado la capacidad inhibitoria de las BAL frente a *Klebsiella*, como los llevados a cabo por (Ramirez, Contreras y Gomez, 2005) utilizando el método de la estría, evidencio capacidad inhibitoria de tres cepas de probióticos (dos

aislamientos de *Lactobacillus* spp. y uno de *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*) sobre cepas de *Klebsiella*, *H. pylori*, *Staphylococcus* spp, y *E. coli* (Montiel, 2010) mediante cepas de bacterias ácido lácticas aisladas de productos lácteos artesanales, utilizando el tratamiento de presencia de células, registro actividad antimicrobiana frente a diferentes cepas de *Klebsiella*. De acuerdo a esto resultados la mejor actuación se obtuvo en el T1, esto puede deberse a los componentes celulares, la exclusión competitiva de nutrientes y a la producción de sustancias antimicrobianas (Amorocho *et al*, 2009) . También es de destacar los resultados encontrados en el T3, donde se considera que las bacteriocinas están ejerciendo el efecto inhibitorio, las cuales actúan en células sensibles, desestabilizan y permeabilizan la membrana citoplasmática por medio de la formación de poros transitorios o canales iónicos que causan la disrupción o reducción de la fuerza motriz de la célula debido a la interacción con polímeros aniónicos que constituyen la pared celular (Camargo, Gómez, y Salazar, 2009). Los péptidos de las bacteriocinas se unen a la membrana citoplasmática a través de uniones electrostáticas con los fosfolípidos cargados negativamente, luego se insertan a la membrana con una reorientación que depende del potencial de membrana, el cual está influenciado por el pH y la composición fosfolipídica. Los monómeros de bacteriocina forman agregados proteicos que resultan en la formación del poro con la consecuente salida de iones (principalmente potasio y magnesio), pérdida de la fuerza motriz de protones (FMP), salida de ATP y aminoácidos. La fuerza motriz de protones cumple un papel central en la síntesis de ATP, en el transporte activo y el movimiento bacteriano; por lo tanto, se inhibe la síntesis de macromoléculas y la producción de energía dando como resultado la muerte celular ( González, Gómez, Jiménez, 2003; Mondragon *et al*, 2013; Agudelo, 2014; y Fernández, Chanci, Wilches, Cardona, 2014 ).

Por otro lado, mediante la aplicación de la ANOVA de doble vía, se evidenció que los factores tratamiento y CEPAS BAL, tienen efecto estadísticamente significativo sobre el diámetro de inhibición, con un 95,0% de nivel de confianza. Esto se refleja en el T2, donde las cepas BAL Dv1 y Hv2 fueron las únicas que mostraron inhibición frente a *Klebsiella* AVA (Figura 3-A), en tanto frente a *Klebsiella* CSS, en este mismo tratamiento no se evidenció ninguna actividad antimicrobiana (Figura 3-B). De igual forma en los demás tratamientos se evidencia discrepancia de cada cepa BAL, destacándose la cepa Hv2, la cual

demostro Efecto inhibitorio en el crecimiento de *Klebsiella* AVA, en los tres tratamientos con medias de inhibición de 12.3, 10.7 y 9.3 mm, respectivamente (Figura 3-A). Esto evidencia que existe una dependencia del tipo de tratamiento a implementar, al igual que la cepa BAL aislada.

La presencia de BAL en este producto con potencial probiótico permite inferir que la leche de cabra posee cualidades que, en el futuro mediante las estrategias debidas, puede llegar a ser de gran importancia como alimento funcional, favoreciendo la seguridad alimentaria en zonas donde generalmente es explotada por pequeños productores de escasos recursos y de la población en general. Las cepas con potencial probiótico son de especial relevancia en la industria de alimentos, facilitando la participación de estos en la elaboración de alimentos modificados, otorgándoles la posibilidad de conservarse mucho más tiempo y valor agregado no solo a un producto sino a toda una cadena.



**Figura 3.** Graficas de interacciones de los factores tratamiento y cepas BAL frente a *Klebsiella* A) AVA y B) CSS

### CONCLUSIÓN

De acuerdo al estudio realizado se encontraron variaciones en los valores de viscosidad y acidez titulable de la leche de cabra obtenida en Huila-Colombia, relacionadas con la zona de pastoreo de las cabras y el tipo de dieta que estas llevan en el tiempo de lactancia, factores de importancia para tener en cuenta en futuras investigaciones. De igual manera el presente estudio permite establecer que existe un potencial probiotico en el producto de leche de cabra comúnmente comercializada de forma informal, otorgándole un valor agregado, y una base científica para el planteamiento de estrategias en pro del desarrollo de este sector en la región.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agudelo, N. (2014). Estado del arte de la obtención de bacteriocinas a partir de bacterias ácido lácticas y su aplicación en la industria de alimentos. Retrieved from <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/1409>

Amoroch Cruz, C.M García Hernández, J, Y. Moreno Trigos, Jiménez Belenguer, A., Ferrús Pérez, M.A and Hernández Pérez , M. (2010) In vitro effect of lactic acid bacteria isolated from guirra sheep against Salmonella spp.. Microorganisms in Industry and Environment: pp. 403-407. [https://doi.org/10.1142/9789814322119\\_0087](https://doi.org/10.1142/9789814322119_0087)

Cadena Productiva Ovino-Caprina Nacional. (2012). Acuerdo Nacional De Competitividad, 1–89. Recuperado de : <https://sioc.minagricultura.gov.co/OvinoCaprina/Documentos/004%20-%20Documentos%20Competitividad%20Cadena/Nuevo%20Acuerdo%20Nacional%20de%20Competitividad%202012.pdf>

Camargo, I., Gómez, S., & Salazar, V. (2009). Impact of bacteriocins and their relevance as preservatives in the food industry. *Teoría Y Praxis Investigativa*, 4(2), 27–32. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3726666&info=resumen&idioma=ENG>

Fernández, K. J., Chanci, I. C., Wilches, L., & Cardona, J. A. (2014). Caracterización De Los Metabolitos De Bacterias Ácido Lácticas Y Efecto Inhibidor De Las Bacteriocinas En Microorganismos Patógenos En Alimentos: Revisión Sistemática De La Literatura, 2008-2012 / Characterization of Metabolites of Lactic Acid Bacteria an. *Biosalud*, 13(1), Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S1657.95502014000100006&lang=es&site=eds-live&scope=cite>

Flores, M. A., Pérez, L. R., Basurto-Sotelo, M., & Jurado, M. R. (2009). La leche de cabra y su importancia en la nutrición. *Tecnociencia Chihuahua*, 3(2), 107–113.

Gonzales, C., Manrique, C., & Grajales, H. (2015). Formulación de un modelo conceptual para la gestión de la información en la producción de ovinos y caprinos -1. Analisis de los

sistemas de gestión y definición de las fronteras del modelo. *Revista FMVZ-UN*, 62, 1–33.  
<http://doi.org/10.3989/ris.2010.10.11>

García, M. G. (2016). Aptitud tecnológica de leche procedente de cabras alimentadas con subproductos de alcachofas. Universidad Miguel Hernández de Elche.

González, B., Gómez, M., & Jiménez, Z. (2003). Bacteriocinas De Probióticos. *Revista Salud Publica Y Nutricion*, 4(2), 8.

Haghi, F., Zeighami, H., Naderi, G., Samei, A., Roudashti, S., Bahari, S., & Shirmast, P. (2015). Detection of major food-borne pathogens in raw milk samples from dairy bovine and ovine herds in Iran. *Small Ruminant Research*

INLAC. (2015). El sector lácteo en España. Retrieved from <http://www.agroalimentarias.coop/ficheros/doc/05092.pdf>

McDermott, A., Visentin, G., McParland, S., Berry, D. P., Fenelon, M. A., & De Marchi, M. (2016). Effectiveness of mid-infrared spectroscopy to predict the color of bovine milk and the relationship between milk color and traditional milk quality traits. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3267–73. <http://doi.org/10.3168/jds.2015-10424>

Mondragon, G., Escalante, P., Osuna, J., Ibarra, V., Morlett, J., Aguilar, C., & Rodriguez, C. (2013). Bacteriocinas: características y aplicación en alimentos. *Investigación y Ciencia*, 21, 64-70. <https://doi.org/1665-4412>

Montiel, A. (2010). Evaluación in vitro de acción de cultivos probióticos (Bifidobacteria) sobre cepas de enterobacterias (E. coli, Klebsiella pneumoniae y Enterobacter ) nosocomiales con resistencia microbiana. Universidad Nacional de Colombia

Moreno, D., & Grajales, H. (2014). Caracterización del proceso administrativo y de mercado en los sistemas ovinos del trópico alto colombiano. *Revista Ciencia Animal*, (7), 85–98.

NTC 666. Leche y productos lácteos. Guía para muestreo (1996). ICONTEC



NTC 4978. Leche y productos lácteos. determinación de la acidez titulable método de referencia . (2001).

NTC 4979. (2001). Leche y productos lácteos. Determinación del contenido de sólidos totales en leche, crema de leche, leche evaporada, leche condensada azucarada, arequipe, dulce de leche, helados y queso. –Método de referencia.

Official Methods of Analysis 18<sup>th</sup> Edition, (2005). AOAC 923.03 Cap. 32, pág 2.

Park, Y. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. Small Ruminant Research, 68(1-2), 73–87. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.015>

Quiles, A., & Hevia, M. (1994). Propiedades Físicas de la Leche de Cabra. Revista Leche de cabra 53– 55.

Ramírez, J., Contreras, G., & Gómez, M. C. (2005). La fase estacionaria en la bacteria *Escherichia coli*. Revista Latinoamericana de Microbiología, 47(3-4), 92–101

Salvador, A., & Martínez, G. (2007). Factores que afectan la producción y composición de la leche de cabra: Revisión bibliográfica. Revista de La Facultad de Ciencias, 48(2), 61–76. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2950290>

## ACEITABILIDADE DE BLENDS DE CAFÉ SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE TORRA

OLIVEIRA, A. P. L. R<sup>1</sup> ; OLIVEIRA, G. H. H<sup>1</sup> ; NEVES, R. F. <sup>2</sup> ; SOUZA, M. V. C<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor (a) do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais-*Campus* Manhuaçu,  
Brasil

<sup>2</sup>Estudante do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais-*Campus* Manhuaçu,  
Brasil ana.lelis@ifsudestemg.edu.br Tel.: +55 33 3333-0100

**RESUMO:** As indústrias de café torrado e moído do Brasil já utilizam as duas principais espécies de café cultivadas no país, que são a *Coffea arabica* (café arábica) e a *Coffea canephora* (café robusta) na formação de *blends* para o consumo interno. Essas também variam o tipo de torra a ser utilizado de modo a atender o mercado consumidor, entretanto poucos estudos científicos são realizados nesta área. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar a influência do tipo de torra e da composição de blends entre café arábica e robusta, a partir de testes da análise sensorial, na aceitabilidade do produto. Para isso, café arábica e robusta foram adquiridos de produtores de Manhuaçu-MG e Alegre-ES, respectivamente. As amostras foram levadas ao IFSudesteMG-*Campus* Manhuaçu, onde foram descascadas, classificadas e torradas a SCAA#65 e SCAA#45. Posteriormente, foram realizados *blends* com 0,0, 30,0 e 60,0 % m/m de café robusta, para os testes. Em seguida, foram convidados, de forma aleatória, 49 degustadores não treinados. Seleccionados 29 degustadores aptos, por testes triangulares, foi realizada a análise sensorial dos *blends* em função do sabor, odor e visão. Por fim, pôde ser avaliada a influência do tipo de torra e da composição dos *blends* e dentre as amostras propostas, àquelas que melhor atenderam à demanda sensorial do grupo seleccionado foram as IF21, IF22 e IF24, por apresentar menores índices de café robusta e, nos dois primeiros casos, uma torra mais clara.

**PALAVRAS-CHAVE:** consumo de café, qualidade, prova de xícara.

## ACCEPTABILITY OF COFFEE BLENDS SUBMITTED TO DIFFERENT ROASTING DEGREES

**ABSTRACT:** Industry of roasted and grinded coffee uses *Coffea arabica* (arabica) and *Coffea canephora* (robusta), main coffee species, to form blends consumed worldwide. In addition to blends composition, industries also vary the roast degree to attend the consumer market; however, few scientific studies are accomplished in this field. Being that stated, this work aimed to evaluate the influence of roasting degree and blends composition, by means of sensorial analysis, over the product acceptability. To do so, arabica and robusta coffee were acquired, respectively, from producers from Manhuaçu-MG and Alegre-ES, both cities of Brazil. Samples were taken to IF Sudeste MG – *Campus* Manhuaçu, in which they were dehulled, classified and roasted at Agrons SCAA#65 and SCAA#45. Afterwards, blends were made with 0, 30 and 60 % m/m of robusta coffee and 49 untrained panelists were randomly invited to perform the tests, which 29 were indicated as capable, by triangle tests. They performed the sensorial analysis of the blends, indicating aroma and aspect. Finally, influence of roast degree and blends composition was evaluated and among the proposed samples, those that better attend the sensorial demand of the selected panelists were samples IF21, IF22 and IF24, because presented lower indices of robusta coffee and, in the first two samples, a lighter roast.

**KEYWORDS:** coffee consumption, quality, cup test.

### INTRODUÇÃO

O café pertence ao gênero *Coffea* e possui duas espécies de maior importância para o comércio no mundo, a *Coffea arabica* e a *Coffea canephora*, conhecidas como café arábica e café robusta. A espécie arábica corresponde a estimativa de mais de 76,8% da produção brasileira, com produção, em 2016, de mais de 49 milhões de sacas de café arábica, sendo o Estado de Minas Gerais o maior produtor. Entretanto, há expectativa de produção de 11,0 milhões de café robusta, com cultivo predominante no Estado do Espírito Santo.(CONAB, 2016).

No Brasil, a espécie *Coffea arabica* é tradicionalmente a mais explorada comercialmente. Este fato se deve a maior aceitação da bebida produzida por esta espécie o que confere uma maior valorização em relação à espécie *Coffea canephora* (FERNANDES et al., 2003). Entretanto, o café robusta nos últimos anos vem aumentando sua participação no mercado interno, por apresentar maior produtividade, menor susceptibilidade a doenças e por ser adequado a regiões de baixa altitude e de temperaturas mais elevadas (entre 22 e 26 °C) (PARTELLI et al., 2014).

De acordo com Ribeiro et al. (2014), os *blends* entre os cafés robusta e arábica também podem ser realizados com o objetivo de aproveitar o potencial sensorial de cada café, combinando-os de tal forma que enriqueçam sensorialmente os sabores e aromas do produto final, de acordo com o público alvo. Entretanto, segundo Santos et al. (2013), a adição de café robusta no café comercial não é bem aceita pelos consumidores, uma vez que proporciona uma bebida mais amarga que é proporcional ao teor de café robusta adicionado.

Além da espécie, o tipo de torra empregado durante o processo de industrialização do de alimentos tem influência sobre suas características sensoriais e, conseqüentemente, a sua aceitação de mercado. Segundo MONTEIRO & TRUGO (2005), para o café o processo de torra do grão tem influência direta sobre a qualidade da bebida, pois durante este processo ocorrem modificações e formação de diferentes constituintes químicos que contribuem para o aroma final da bebida. De acordo com Vargas-Elias (2011), as torras mais utilizadas comercialmente são as dos tipos média clara e moderadamente escura.

Desta forma, considerando a importância econômica e industrial da utilização dos blends de café robusta e arábica na formulação do café torrado e moído, assim como o tipo de torra aplicado ao grão nas características de aroma e sabor do café, objetiva-se com esse trabalho, avaliar a influência do tipo de torra e da composição de blends entre café arábica e robusta, a partir da opinião e aceitabilidade de degustadores, caracterizando cientificamente as preferências sensoriais deste mercado consumidor.

## MATERIAL E MÉTODOS

O café arábica foi adquirido diretamente do produtor, em Manhuaçu, Minas Gerais e o café robusta, adquirido em Alegre, Espírito Santo. As amostras foram levadas ao laboratório de análise sensorial, do IF Sudeste MG – *Campus* Manhuaçu, onde foram descascadas, selecionadas e encaminhadas à torrefação.

A torra foi realizada com auxílio de um torrefador de queima direta de gás GLP, com cilindro em movimento rotativo a 45 rpm, com pré-aquecimento e capacidade de 300 g de café cru. Dois níveis de torra foram obtidos: média clara (MC) e moderadamente escura (ME), cujos números Agtron correspondentes são, respectivamente, SCAA#65 e SCAA#45. Por fim, as amostras seguiram para a moagem, em moinho Mahlkönig, na granulometria média (0,84 mm). As amostras, cujas composições estão descritas conforme Tabela 1, foram preparadas com água mineral e pó de café na proporção de 100,0 g de pó de café serão utilizados 1,0 L de água mineral. A bebida foi extraída, no momento do teste, com papel filtro nº 105, conforme metodologia de Silva et al. (2009) e foi servida, individualmente, em copos descartáveis.

**Tabela 1. Descrição das amostras encaminhadas à análise sensorial**

Amostra	Descrição		Amostra	Descrição	
	Café robusta (% m/m)	Tipos de torra		Café robusta (% m/m)	Tipos de torra
IF 21	0	Média Clara	IF 24	0	Moderadamente escura
IF 22	30	Média Clara	IF 25	30	Moderadamente escura
IF 23	60	Média Clara	IF 26	60	Moderadamente escura

*Perfil dos degustadores do teste:* A pesquisa foi realizada com consumidores habituais de café, de diferentes sexos e faixa etária entre 16 e 70 anos, convidados de forma aleatória entre

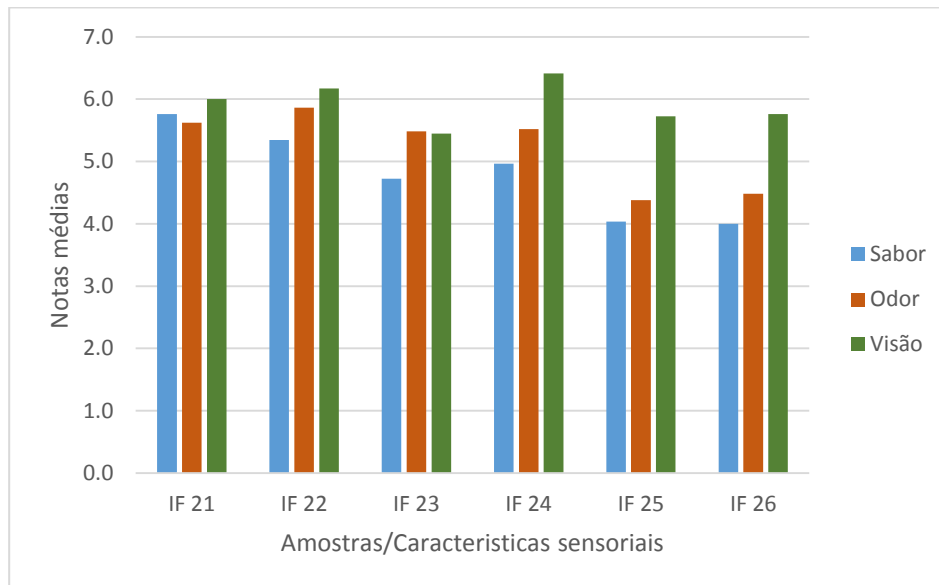
as pessoas que participavam do 21º simpósio sobre cafeicultura das matas de minas em Manhuaçu MG, e entre os membros da comunidade acadêmica do IFSudesteMG - *Campus* Manhuaçu.

*Seleção dos degustadores:* Foi realizada por meio de análise sequencial composta por 3 testes triangulares que foi aplicada conforme metodologia proposta por Jordão (2005).

*Aceitabilidade:* De acordo com Passos et al. (2015), as características de qualidade relevantes são: paladar, odor e visão, com pesos 1,0, 0,9 e 0,7, respectivamente. E de modo a definir as características necessárias ao produto que está sendo analisado, essa caracterização foi feita de forma quantitativa, atribuindo notas entre 1,0 a 9,0 para cada um dos parâmetros sugeridos. Assim, as amostras foram entregues aos consumidores, conforme metodologia proposta, de forma aleatória, para evitar que a sequência da degustação afetasse os resultados. Junto a cada amostra servida, o consumidor recebeu um copo de água em temperatura ambiente, açúcar e adoçante para que possam adoçar o café de acordo com a sua preferência.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após o teste de triangulação, dentre os 49 voluntários, 33 foram considerados aptos com relação ao tipo de torra do café, ou seja 33 voluntários conseguem diferenciar os cafés com relação a variedade, fazendo a diferenciação entre os cafés arábica e robusta. Da mesma forma, notou-se que entre os os 49 voluntários, 32 foram considerados aptos com relação ao tipo de torra do café, ou seja 32 voluntários conseguem diferenciar os cafés com relação a torra média clara e moderadamente escura. Por fim, ainda pôde ser observado que de acordo com os critérios de classificação propostos entre os voluntários 29 são considerados aptos a realizarem os testes de análise sensorial proposto. Sendo assim, 59,18% dos entrevistados podem ser considerados aptos.



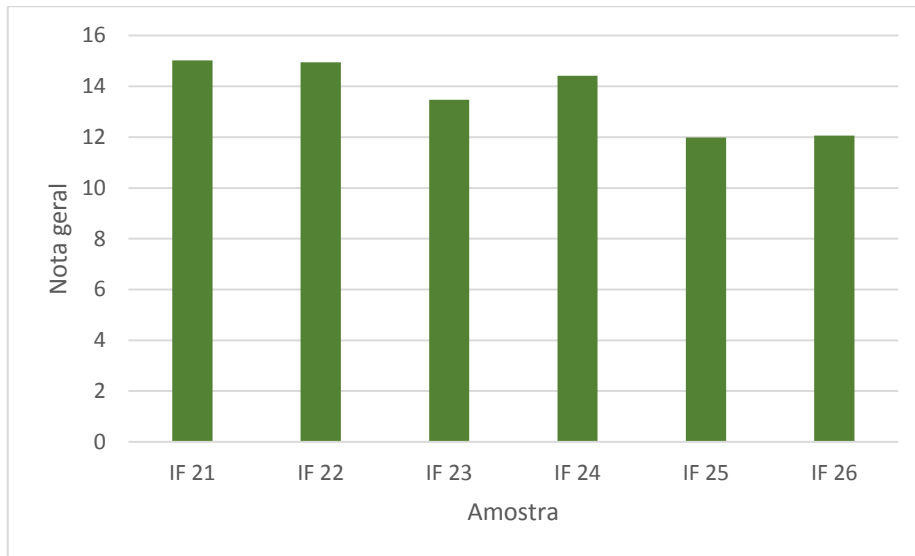
**Figura 2.** Notas médias concedidas pelos degustadores às amostras de café em função da característica sensorial.

Na Figura 2 estão representadas as notas médias conferidas a cada uma das amostras, em relação ao sabor, odor e à visão, levando em consideração a avaliação dos 29 degustadores aptos. De acordo com a figura as amostras IF21 e IF22 foram as que mais agradaram ao paladar. Esse resultado já era esperado, pois existe uma preferência de mercado pelo café arábica e a torra mais clara diminui o amargor da amostra. A mesma observação pode ser feita para a característica de odor. Porém, de acordo com Monteiro et al. (2010) grupos de avaliadores tenderam a preferir as amostras da bebida café das torras escura. Essa divergência pode estar relacionada a cultura regional de consumo da cidade de Manhuaçu, que é produtora de café de qualidade. É conhecido que cafés de qualidade tem seu sabor e aroma pronunciados quando menos torrados e essa pode ser uma prática comum aos degustadores selecionados, mesmo que a seleção seja realizada de forma aleatória.

Entretanto, de acordo com a Figura 2, a amostra IF24 foi a que mais agradou a visão dos degustadores. Esse fator pode ser explicado pela ausência de café robusta na amostra, mas também pelo tipo de torra. É conhecido que o mercado consumidor brasileiro tende a preferir cafés com a torra mais escura, por entre outros fatores, promover o rendimento do pó.

Segundo Monteiro et al. (2010) as amostras de café submetidas à torra escura têm maior aceitação nos quatro atributos avaliados por um grupo maior de consumidores.

Por fim, de acordo com a Figura 3 observa-se a influência da nota geral das amostras em função da preferência dos degustadores.



**Figura 3.** Nota geral das amostras em função das características sensoriais da amostra, por seu determinado peso.

Observa-se, na Figura 3, que as amostras IF21, IF22 e IF24 foram as amostras com maiores notas. Esse fato sugere que, em torras mais claras o café robusta é bem aceito pelo mercado desde que a sua torra seja média clara (IF22). Caso contrário, a adição de café robusta não foi bem aceita pelos degustadores em comparação com as demais. Essa é uma observação é interessante, uma vez que, era esperado que os consumidores rechasassem a adição de café robusta, conhecidamente responsável pela inferiorização da qualidade do café, dentre a preferência de degustadores não treinados. Esse fato é ainda mais relevante quando levado em consideração a exigência de mercado dos consumidores da região de Manhuaçu.

Ressalta-se ainda que existe uma preferência de mercado pelo café arábica, uma vez que a não adição de café robusta, independentemente da torra, é bem aceita, dentre as amostras estudadas.



## CONCLUSÕES

Foi avaliada a influência do tipo de torra e da composição de *blends* entre café arábica e robusta, a partir de testes da análise sensorial, na aceitabilidade do produto;

Foi avaliada a partir de testes de análise sensorial, as características de aroma e sabor do café arábica quando incorporados 0, 30, 60%, em massa, de café robusta;

Dentre as amostras propostas, àquelas que melhor atende à demanda sensorial do grupo de avaliadores são a IF21, IF22 e IF24, por apresentar menores índices de café robusta e, nos dois primeiros casos, uma torra mais clara;

Dentre os parâmetros sensoriais avaliados, aquele que mais sofre a influência da adição do café robusta é o sabor.

## AGRADECIMENTOS

CNPq, FAPEMIG, IFSudesteMG – *Campus* Manhuaçu

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIC – Assoc. Brasil. da Indústria de Café. Indicadores da Indústria de Café no Brasil.2015.

Disponível em:<  
<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61>> Acesso em 05 de junho de 2016.

BOUBLENZ, I., LAZOUNI, H. A., GHAFARI, L., RUIZ, K., FABIANO-TIXIER, A., CHEMAT, F. (2017) Influence of Roasting on Sensory, Antioxidant, Aromas, and Physicochemical Properties of Carob Pod Powder (*Ceratonia siliqua*L.). **Journal of Food Quality**. Volume 2017, p.1-10.

CONAB (2016) Acompanhamento de safra brasileira: Café. Brasília, v.1, n.1, 2016.

Disponível em  
<[http://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/16\\_01\\_20\\_17\\_01\\_56\\_boletim\\_cafe\\_-\\_janeiro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/16_01_20_17_01_56_boletim_cafe_-_janeiro_2016.pdf)> Acesso em 05 de junho de 2016.

FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A; PINTO, N. A. V. D.; NERY, M. C; PÁDUA, F. R. M. DE. (2003) químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica e robusta torrados. **Ciencia e Agrotecnologia**. v.27, n.5, p.1075-1061.

MONTEIRO, M. C; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**. V.28. n.4. p. 637-641.

MONTEIRO, M. A. M, MINIM, V. P. R, SILVA, A. F., CHAVES, J. B. P. I. (2010) Influência da torra sobre a aceitação da bebida café. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.2, p. 145-150

OIC – Organização Internacional do Café. Estatísticas do Comércio. 2015. Disponível em: <[http://www.ico.org/pt/trade\\_statistics.asp?section=Estat%EDstica](http://www.ico.org/pt/trade_statistics.asp?section=Estat%EDstica) > Acesso em 05 de junho de 2016.

OLIVEIRA, G. H. H. (2013) Propriedades físicas e termodinâmicas da sorção do café torrado, inteiro e moído, durante o armazenamento. ( Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola), Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. p. 177.

PARTELLI, F. L; PARTELLI, A. S; BORÉM, F. M; TAVEIRA, J. H. DA S. (2014) Qualidade do café robusta seco em terreiro de estufa com beneficiamento antecipado. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 35. n. 5. p. 2367-2372.

PASSOS, M. L. S; Pereira, L. L.; CARVALHO, D. (2015) Caten, C. S. Avaliação de diferentes tipos de cafés, com consumidores não treinados a partir do projeto de experimentos: doe - design of experiments. **XXXV Enc. Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza, Ceará. p. 1-15.

RIBEIRO, J. L.; CATEN, C. T. (2014) **Projeto de Experimentos – DOE. Material de Aula**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS.

SANTOS, E. S. M., DELIZA, R., FREITAS, D. G. C., CORRÊA, F. M. (2013) Efeito de grãos conilon no perfil sensorial e aceitação de bebidas de café. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2297-2306.

SCAA-Speciality Coffee Association of america. SCAA Protocols. Janeiro, 2015. Disponível em <<http://www.scaa.org/?page=resources&d=green-coffee-protocols>> Acesso 05 de junho de 2016.

SILVA, M. C., CASTRO, H. A. O., FARNEZI, M. M. M., PINTO, N. A. V. D., SILVA, E. B. (2009) Caracterização química e sensorial de cafés da chapada de Minas, visando determinar a qualidade final do café de alguns municípios produtores. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1782 -1787,

VARGAS-ELIAS, G. A. (2011). **Avaliação das propriedades físicas e qualidade do café em diferentes condições de torrefação**. (Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola), Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 114p.

The remaining time will be dedicated to the exchange with the audience and the corresponding summary by the Panel's moderator.

## **CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA SEMILLA DE PAPAYA Y LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE DURANTE EL SECADO**

**DANIEL MURILLO-JIMÉMEZ<sup>1</sup>, IVÁN GÓMEZ-BOLAÑOS<sup>2</sup>, REBECA VARGAS-FERNÁNDEZ<sup>3</sup>, JUAN ROBERTO MORA-CHAVEZ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643.

[danielmurillo444@gmail.com](mailto:danielmurillo444@gmail.com)

<sup>2</sup>Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643.

[ivangb05@hotmail.com](mailto:ivangb05@hotmail.com)

<sup>3</sup>Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643.

[rebecavf92@gmail.com](mailto:rebecavf92@gmail.com)

<sup>4</sup>Ingeniero Agrícola. Lic. Profesor. UCR, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643.

[juanroberto.morach@ucr.ac.cr](mailto:juanroberto.morach@ucr.ac.cr)

### **RESUMEN**

Las semillas de papaya presentan propiedades nutritivas que evidencian una alternativa atractiva como suplemento alimenticio. El proceso de secado es un paso clave en preservar la calidad de este producto, el objetivo en este trabajo fue determinar una correlación entre la humedad relativa del aire y el contenido de humedad del grano. Se utilizaron microcontroladores con sensores de bajo costo para medir la temperatura y la humedad relativa del aire, en tres posiciones de la secadora. Se adaptó una memoria SD para registrar los datos de los sensores. Se analizaron cuatro tratamientos de temperatura del aire de secado. La regresión polinómica de grado tres describió adecuadamente la relación entre estas dos variables con coeficiente de determinación mayor a 0,9 para todos los tratamientos.

**PALABRAS CLAVES:** Arduino, sensor DHT22, secado por convección, semilla de papaya.

## ABSTRACT

Papaya seeds have nutritional properties that show an attractive alternative as a nutritional supplement. The drying process is a key step in preserving the quality of this product, the objective in this work was to determine a correlation between the relative humidity of the air and the moisture content of the grain. Microcontrollers with low cost sensors were used to measure the temperature and relative humidity of the air, in three positions of the dryer. An SD memory was adapted to record the data of the sensors. Four treatments of drying air temperature were analyzed. Polynomial regression of grade three adequately described the relationship between these two variables with coefficient of determination greater than 0.9 for all treatments.

**KEY WORDS:** Arduino, sensor DHT22, convective drying, papaya seed.

## INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya L.*) es un cultivo de ampliamente apreciado por ser uno de los pocos frutales que proporciona producción continua durante todo el año después de iniciada su floración por poseer frutos con un alto valor nutritivo y por alcanzar altos rendimientos, tanto de fruta como de semillas. Se ha cuantificado que en frutos femeninos de papaya pueden contener de 1000 a 1400 semillas estas se caracterizan por ser de color negro midiendo de 3,7 a 4,5 mm de largo por 2 a 2,8 mm de ancho y 2 a 2,5 mm de grueso, esféricas, cubiertas por una capa mucilaginosa (sarcotesta); de característica negruzca y arrugada (Sánchez,2009).

Del grano se pueden obtener subproductos aparte de la misma semilla para cultivo, debido a una cantidad considerable de vitamina C que aparece en el aceite de esta, el cual, cuando se libera al molerlas para convertirlas en polvo, despide un aroma semejante al de chocolate tostado. La composición aproximada de esta semilla en base seca se caracteriza por un contenido promedio de aceite de 33% y un 29% de proteína y un contenido relativamente bajo de ácidos grasos (Cruz, 2016). Lo cual la coloca en una posición viable como un sustituto de harinas, así como para la industria cosmética y farmacéutica.

La demanda por frutas tropicales ha venido creciendo de manera sostenida durante las últimas dos décadas en el 2010 alcanzó los 73,02 millones de toneladas. Actualmente la papaya es la tercera fruta tropical más producida con 11,22 millones de toneladas, equivalente al 15.36% del total de producción de frutas tropicales. Aun cuando el crecimiento en la oferta de papaya se debe en buena medida al incremento de la producción en la India, esta fruta se ha convertido en fuente de ingreso para miles de hogares y en fuente de divisas para países de Asia y de América Latina, aunque más de la mitad de las exportaciones mundiales de papaya, tienen como destino los Estados Unidos (Evans, 2015).

Generalmente se tiene que las semillas se obtienen con un contenido de humedad de entre 70-80% (Padoin *et all*, 2016). En Tailandia buscan una meta de reducción de humedad hasta un 10-15% con temperaturas de entre 50-80°C y a humedades del aire entre 10-25% (Udomkun *et all*, 2015). Si se desea realizar secado para almacenamiento de semillas el contenido meta de humedad debe ser de un 4-6% (Sánchez, 2009).

El proceso de secado está regulado principalmente a las condiciones de temperatura, humedad, velocidad y dirección del aire; así como el tiempo de exposición a determinadas condiciones. Un mal secado puede producir oxidación de aceite, reacciones enzimáticas indeseables y desnaturalización de proteínas (Padoin *et all*, 2016). Este trabajo busca describir la exactitud de la relación existente entre la humedad retirada por el aire y la humedad remanente en el grano a través del proceso de secado, manteniendo constantes los otros parámetros influyentes.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Fueron utilizadas 50 papayas variedad híbrida-Pococí de la empresa Soluciones Agroindustriales del Este S.A ubicada en el cantón de Guácimo en la provincia de Limón; de tamaño mediano y un grado de madurez intermedio donde la fruta se encontraba con colores verde-amarillento. Fueron refrigeradas a 11°C en el laboratorio de tecnología poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Se separaron las semillas del fruto y en el laboratorio del Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica, se realizó la remoción del mucílago

colocando las semillas en un procesador de alimentos. Este procedimiento se realizó por medio de lavados con agua limpia durante un minuto a velocidad baja y posteriormente las semillas fueron remojadas dentro de un colador; este proceso de remoción se realizó dos veces para la totalidad de semillas extraídas.

Para el proceso de secado, se estableció un sistema de monitoreo en tres puntos del prototipo de secadora disponible, para el cual se utilizaron 3 sensores de humedad y temperatura DHT-22 modelo AM2303, este trabaja en rangos de humedad de 0-100% ( $\pm 2\%$ ) y a temperaturas que van desde los  $-40-125^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,2^{\circ}\text{C}\%$ ). Los sensores se colocaron de manera que inicialmente uno permitiera controlar las condiciones del aire de entrada del ventilador, otro inmediatamente después de la resistencia utilizada para calentamiento de aire y el último al final del túnel posterior al paso por el grano.

Se colocó una resistencia adicional al final del túnel del secado para permitir trabajar a temperaturas de secado mayores y a su vez algunas mejoras al sistema presente para el control de humedad y temperatura como el sistema de almacenamiento automático de, las mediciones de los sensores se registraron con un intervalo de 2 segundos tomados por los sensores, haciendo uso del microcontrolador Arduino UNO R3.

Para el secado de las semillas de papaya se trabajó con una capa delgada de material, donde se utilizaron aproximadamente 120 g de semillas de papaya por capa. Las semillas se colocaron sobre un tamiz N° 45.

Se trabajó con cuatro temperaturas diferentes de 40, 45, 50 y 55 °C, a una velocidad de aire constante de 0.7 m/s, realizando dos repeticiones por temperatura. La masa de agua perdida por las semillas se midió mediante la balanza analítica marca BOECO modelo BPS 51 plus ( $\pm 0.5$ ), en intervalos de 5 minutos, hasta llegar a una diferencia de peso menor o igual a 0,5%. Con los datos leídos en la balanza se utilizó la fórmula (1) para determinar el contenido de humedad en base húmeda.

$$Ch. bu(\%) = \frac{m_a}{m_T} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$Ch.bu(\%)$ , contenido de húmeda en base húmeda [%].

$m_a$ , masa de agua [g].

$m_T$ , masa total [g]

La masa de agua se calculó mediante la fórmula (2).

$$m_a = m_T - m_s \quad (2)$$

Donde:

$m_a$ , masa de agua [g].

$m_s$ , masa seca [g].

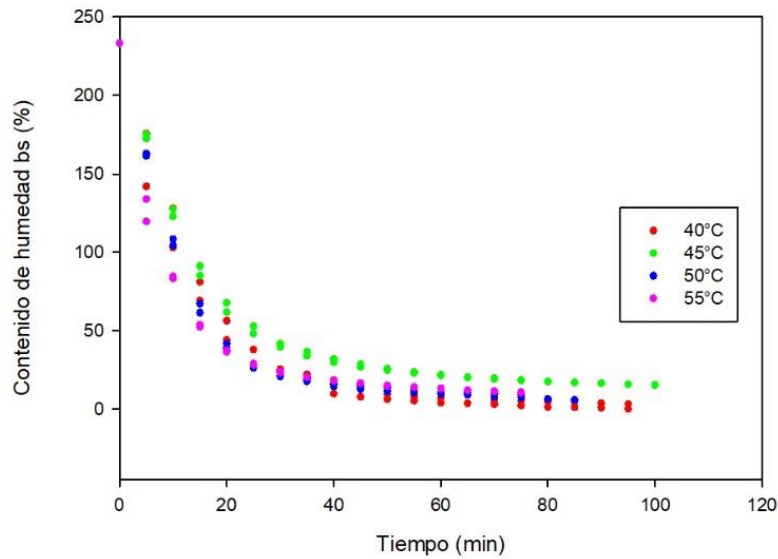
$m_T$ , masa total [g].

La determinación de la masa seca se realizó con la ayuda de una balanza analítica marca AND modelo MF-50 ( $\pm 0.01$ ), el cual midieron muestras de 50 g hasta un contenido de humedad de 0.05%. El procesamiento de los datos fue llevado a cabo con software SigmaPlot 12.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

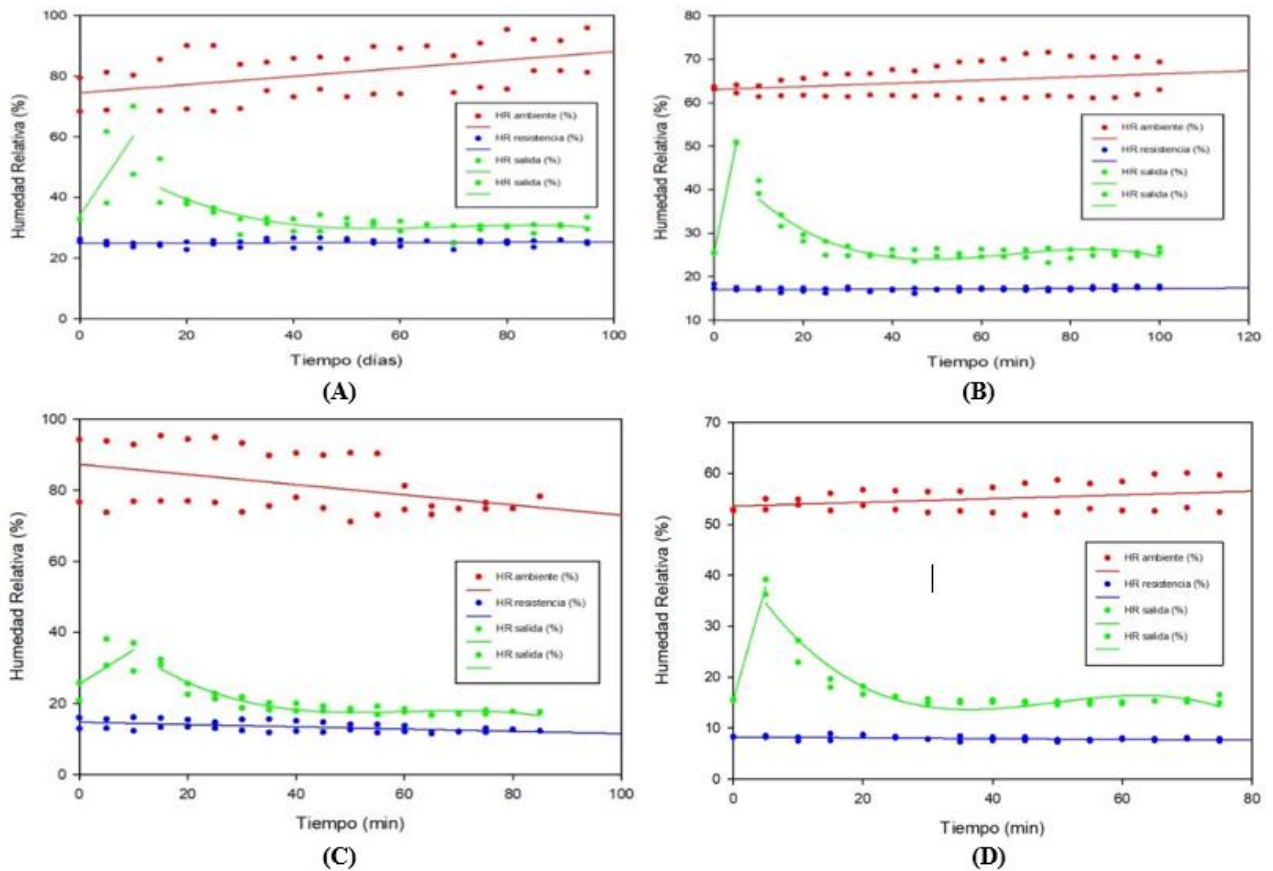
La prueba de la balanza analítica reveló una masa seca de 36,25 g y un contenido de humedad inicial de 70% (base húmeda) para las masas de semillas utilizadas.





**Figura 1.** Curvas de secado de semilla de papaya.

En la Figura 1 se observa una congruencia en el comportamiento de la pérdida de humedad de los granos en donde a los 40min de comenzado el proceso, para las cuatro temperaturas utilizadas es donde se presentó la mayor pérdida, tendiendo a estabilizarse a los 60 min, para que al cabo de 90 min la pérdida de masa se volviera nula.

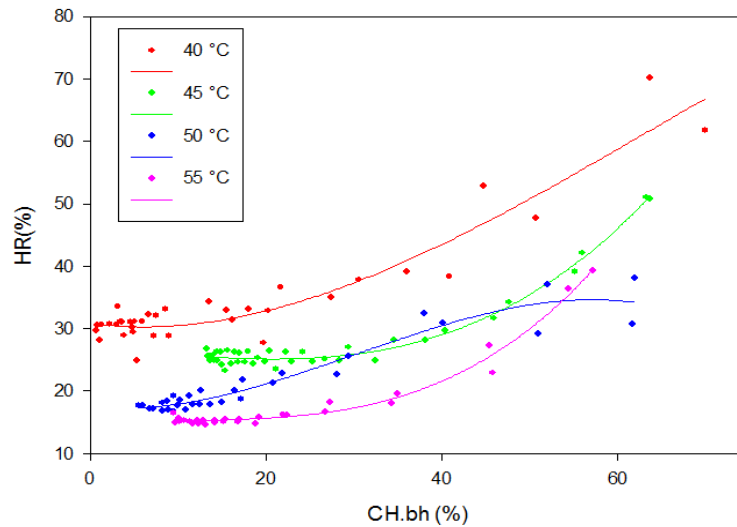


**Figura 2.** Humedad relativa del aire del ambiente (rojo), después de la resistencia (azul) y a la salida (verde). A las temperaturas de secado a 40°C (A), 45°C (B), 50°C (C) y 55°C (D).

La Figura 2 muestra un comportamiento estable en la humedad relativa del aire de las condiciones de calentado y ambientales, particularmente las condiciones ambientales de los ensayos de las temperaturas de 40°C y 55°C presentan mayor variabilidad en las mediciones, sin embargo las diferencias se encuentran dentro del rango de error de los sensores.

En cuanto a la humedad relativa a la salida asimila un comportamiento a contraparte con las curvas de secado mostradas en la Figura 1, para las cuatro temperaturas utilizadas se tiene que a los primeros 40 min el aire transporta la mayor cantidad de humedad, llegando a un pico máximo alrededor de los 10 min. En paralelo con las curvas de secado se observa que a

partir de los 40 min, se tiende a reducir la cantidad de humedad transportada y la asimilación de un comportamiento constante.



**Figura 3.** Correlación entre CH.bh (%) y HR.salida (%).

En la Figura 3 se observa que las curvas para los tratamientos de 40°C, 45° y 55°C muestran un comportamiento congruente convexo, destacándose la curva del tratamiento a 50°C la cual presenta un comportamiento cóncavo.

**Cuadro 1.** Regresión polinómica CH.bh (%) vs HR.salida (%).

Temperatura	Ecuación	y0	a	b	c	R <sup>2</sup>	CV (%)
40°C		30,8	-0,183	0,015	0	0,90	6,42
45°C	$f = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$	27,12	-0,126	-0,0017	0,0002	0,98	27,87
50°C		17,4	-0,134	-0,205	-0,0002	0,92	0,26
55°C		14,21	0,161	-0,0095	0,0003	0,98	3,77

Como se observa en el Cuadro 1, para los coeficientes de correlación de todos los tratamientos se obtienen ajustes que describen adecuadamente la relación existente entre la humedad relativa de aire con el contenido de humedad remanente en el grano a través del proceso, utilizando una ecuación polinómica de tercer grado, evidenciando una relación positiva entre estos dos parámetros.

### CONCLUSIONES

Existe una correlación directa entre la humedad relativa del aire a la salida del proceso de secado y el contenido de humedad presente en el grano.

La mejor correlación se mostró en las temperaturas de 45°C y 55°C, con la diferencia de que las mediciones realizadas a 45°C presentaron mayor variabilidad.

### REFERENCIAS

Sánchez, L. (2009). *Efecto del secado en semillas de Papaya (Carica papaya L.) en la calidad a través del tiempo*. Universidad Autónoma Agraria.

Evans, E. (2015). *Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial*. IFAS Extension. Florida. pp. 1–7.

Cruz, N. (2016). *Propiedades funcionales de semillas de papaya (Carica papaya L.)*. Revista Ciencias la Salud. Volúmen (No.3):48–56.

Padoin, D. *et all.* (2016). *Convective drying of papaya seeds (Carica papaya L.) and optimization of oil extraction*. Ind. Crops Prod. Volúmen (No. 85):221–228.

Udomkun, P. *et all.* (2015). *Food Science and Technology Single layer drying kinetics of papaya amidst vertical and horizontal air flow*. LWT - Food Sci. Technol. Volúmen (No.64):67–73.

## **ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE UNA PULPA MANGO 100% NATURAL PASTEURIZADA EN EMPAQUES RETORTABLES**

### **Study of stability of a 100% pasteurized natural mango pulp in packaging retortable**

**Margarita Lucía Castro Riascos<sup>1</sup>; Gustavo Andrés Buelvas<sup>1</sup>;  
Brydys Alfonso Mazzy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Complejo Tecnológico Turístico y Agroindustrial del Occidente Antioqueño SENA. Sistema de Investigación Desarrollo Tecnológico e Innovación – SENNOVA. Grupo de Investigación GIDOCA. Santa Fe de Antioquia, Colombia. (+57) 301- 3709133 [mcastror@sena.edu.co](mailto:mcastror@sena.edu.co);  
[mlcastror837@misena.edu.co](mailto:mlcastror837@misena.edu.co)

### **RESUMEN**

Este trabajo tuvo por objetivo evaluar la estabilidad (tiempo de vida útil) de una pulpa de mango 100% natural pasteurizada con el fin de seleccionar el material de empaque retortable más adecuado: E1: (PET/FOIL/BOPA/PPP-Retortable) y E2: (PET/BOPA-Ceramis/CCP-Retortable). Para ello se realizó un estudio de vida útil acelerado, empackando 90 g de pulpa en cada material, luego se pasteurizó a 85°C por 30 min, las pulpas se almacenaron a 45°C, 35°C y 25°C y se evaluaron parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales. La estimación del tiempo de vida útil se realizó empleando el método de regresión lineal. Como resultado se obtuvo que el tiempo de vida útil del producto envasado en empaque E1 fue de 3, 9 y 42 días para las temperaturas de 45°C, 35°C y 25°C; y para el empaque E2 fue de 50, 114 y 219 días respectivamente para las mismas temperaturas. Conforme a lo anterior es posible concluir que el tiempo de vida útil del producto se ve afectado directamente por la temperatura de almacenamiento y por el material del empaque. Siendo el empaque E2 el que mantuvo calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de la pulpa de mango por un mayor periodo de tiempo en las condiciones evaluadas.

## ABSTRACT

This paper was aimed to assess the stability (Shelf life) of a 100% pasteurized-natural mango pulp in order to select the most suitable material for retortable packaging: E1: (PET / FOIL / BOPA / CPP-Retortable) or E2: (PET / BOPA-Ceramis / CCP-Retortable). For this achievement, a shelf life accelerated study was carried on. 90 grams of pulp were packed in each material. Then, it was pasteurized at 85°C for 30 minutes. The pulps were stored at 45°C, 35°C and 25°C to evaluate microbiological, physicochemical and sensory parameters. The estimated shelf life was made by using the linear regression method. As result, shelf life of the product packed in packaging E1 was 3, 9 and 42 days to temperatures of 45°C, 35°C and 25°C; and for packaging E2 was 50, 114 and 219 days respectively at the same temperatures. Therefore, it can be concluded that the shelf life of the product was directly affected by the storage temperature and packaging material. For this reason, packaging E2 kept physicochemical, microbiological and sensory quality of mango pulp for a longer period of time.

**PALABRAS CLAVES:** *Vida útil, empaque retortable, pasteurización, pulpa de fruta, alimentos naturales, mango*

**KEYWORDS:** *Shelf life, retortable packaging, pasteurization, fruit pulp, natural foods, mango*

## INTRODUCCIÓN

Las pulpas de frutas, son un producto alimenticio procesado y obtenido por la maceración, trituración o desmenuzado y el tamizado o no de la parte comestible de las frutas frescas, sanas, maduras y limpias (Resolución 3929, 2013). Este producto tradicionalmente se comercializa congelado o refrigerado para garantizar su conservación hasta que llega al consumidor final, lo cual incrementa los costos de almacenamiento y exige inversión en sistemas de refrigeración.

En este sentido, recientemente la industria de alimentos ha innovado lanzando pulpas estables a temperatura ambiente, algunas de éstas diseñadas como un alimento chupable de fruta natural para los niños y otras destinadas al público en general que emplean aditivos para mantener su calidad e inocuidad por un periodo de almacenamiento mayor. Sin embargo, en la oferta actual del mercado no existen pulpas 100% naturales que sean almacenadas a temperatura ambiente.

Esto representa un reto tecnológico para la industria de alimentos que busca atender el mercado de los “alimentos naturales”, por tal motivo, en este trabajo se modificó la forma tradicional de elaborar la pulpas, combinando los empaques retortables o esterilizables comúnmente empleados para la conservación de la calidad física y nutricional de los alimentos; con un tratamiento térmico de pasteurización capaz de inactivar enzimas y evitar el crecimiento de microorganismos patógenos y alterantes; con la finalidad de obtener un producto sensorialmente similar a las pulpas de frutas tradicionales y que pueda ser almacenado a temperatura ambiente (Latorre,. Pantoja, Mejía, Osorio and Hurtado, 2013) (Villareal, Mejía, Oswaldo, and Cerón, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior este trabajo tuvo por objetivo evaluar la estabilidad de una pulpa de mango 100% natural pasteurizada utilizando diferentes materiales de empaques retortables: E1: (PET/FOIL/BOPA/ CPP Retortable) o E2: (PET/BOPA Ceramis /CCP Retortable).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se empleó como materia prima mango de la variedad hilacha (*Mangifera indica* L) suministrado por la Asociación de productores de mango ASOFRUSAT, ubicada en la vereda Santa Rita, del municipio de Sopetrán-Antioquia. El mango fue seleccionado y clasificado de acuerdo al cuadro de color del mango de hilacha (NTC 5139, 2002), donde los mangos en estado E:3 y E:4 fueron despulpados y refinados en un tamiz 2,0 mm en la despulpadora marca CI TALSÁ-D1000. La pulpa refinada se empacó en frío en presentación de 90 g en dos estructuras de empaque retortable: E1: PET/BOPA Ceramis /CCP Retortable

y E2: PET/FOIL/BOPA/PPP Retortable, para ser finalmente pasteurizada a 85°C por 30 min.

Las pulpas pasteurizadas fueron almacenadas en cámaras climáticas a temperaturas de 45°C, 35°C y 25°C donde se realizó un estudio de vida útil acelerado haciendo seguimiento del deterioro de los productos de acuerdo a las características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales en el tiempo.

Parámetros microbiológicos: recuento de aerobios mesófilos (NTC 4519, 2009), de mohos y levaduras (NTC 5698, 2009), y de Coliformes Totales y Fecales (NTC 4516, 2009). Parámetros fisicoquímicos: pH, la acidez y los sólidos solubles (°Brix) según la Norma Técnica Colombiana NTC 440, 1971. Seguimiento de los tributos de color el cual se determinó utilizando el espectrocolorímetro X-RITE, modelo SP64.

Atributos sensoriales: se empleó un panel entrenado y una prueba descriptiva cuantitativa según la Norma Técnica Colombiana NTC 5328, (2005) y la Norma Técnica Colombiana NTC 3932, (1996), donde se valoraron descriptores sensoriales: sabor, color y olor característicos y objetables, consistencia, calidad general del producto y la aceptación y rechazo de la muestra.

Diseño experimental: El tiempo de estabilidad (vida útil) se estimó de acuerdo al comportamiento de la respuesta (variables de estudio) en función del tiempo de almacenamiento usando el método de regresión lineal y tomando como parámetro crítico la calidad sensorial general y como límite crítico un valor de 5,0.

El tiempo de vida útil de la pulpa de mango 100% natural pasteurizada a la temperatura de 25°C se estimó empleado el factor Q10, conforme a la siguiente expresión (Robertson, 2010):  $Q_{10} = \frac{VU_t}{VU_{t+10}}$  (Ec. 1). Finalmente, con el valor de Q10 y tiempo de estabilidad a temperatura más próxima a la temperatura de estimación, se determina el tiempo de vida útil para la pulpa de mango 100% natural pasteurizada, conforme a la siguiente ecuación (Robertson, 2010):  $VUt = Q_{10} * VU_{t+10}$  (Ec. 2).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Cuadro 1 se presentan los resultados microbiológicos de la pulpa de mango 100% natural pasteurizada en empaque retortable.

**Cuadro 1. Parámetros microbiológicos**

MATERIAL DE EMPAQUE	Temp (°C)	Días de Almacenamiento	Parámetro				
			Recuento de mesófilos UFC/g	Recuento de mohos y levaduras UFC/g	NMP de coliformes totales NMP/g	NMP de Coliformes totales NMP/g	
E1: PET/BOPA Ceramis /CCP Retortable E2: PET/FOIL/BOPA/PPP Retortable	45	Día inicial	<10	<10 mohos, <10 levaduras	<10	-	
		Día 15	<10	<10 mohos, <10 levaduras	<10	-	
	35	Día inicial	<10	<10 mohos, <10 levaduras	<10	<10	
		Día 25	<10	-	-	-	
		Día 34	<10	-	-	-	
	45	Día inicial	<10	<10 mohos, <10 levaduras	<10	<10	
		Día 15	<10	<10 mohos, <10 levaduras	-	-	
		Día 40	<10	<10 mohos, <10 levaduras	-	-	
	35	Día inicial	<10	<10 mohos, <10 levaduras	<10	<10	
		Día 25	<10	<10 mohos, <10 levaduras	-	-	
	Especificaciones técnicas: Resolución 3929 - 2013 Pulpa de frutas o concentrados de fruta pasteurizados			1000-3000	100-200	No aplica	No aplica

De acuerdo a estos resultados se puede afirmar que las muestras almacenadas en los empaques E1 y E2 cumplieron durante el tiempo de evaluación con los parámetros especificados en la resolución 3929 de 2013.

En la Cuadro 2, se presentan los resultados fisicoquímicos donde el pH, °Brix y % Acidez (expresado en ácido cítrico), se mantuvieron dentro de un rango estable durante el tiempo de evaluación a las temperaturas de almacenamiento para las muestras de pulpa en los

empaques E1 y E2. Respecto a las coordenadas de color de las muestras se observó una pérdida de la claridad del producto almacenado a 45°C, pero una estabilidad en las muestras almacenadas a 35°C hasta la fecha evaluada, para ambos tipos de empaques.

**Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos**

MATERIAL DE EMPAQUE	Temp (°C)	Días de almacenamiento	Parámetro						
			pH a 20°C	% Sólidos solubles (°Brix)	% Acidez Exp. en ácido cítrico	Coordenadas de color			
						*L	*a	*b	
E1: PET/BOPA /CPP Ceramis Retortable	45	Día inicial	3,74	16,5	0,760	39,52	8,88	66,62	
		Día 15	3,82	16,7	0,711	35,82	10,44	55,34	
	35	Día inicial	3,74	16,5	0,760	39,52	8,88	66,62	
		Día 26	3,83	16,5	0,667	31,83	11,69	53,98	
		Día 35	3,86	16,5	0,694	35,82	10,84	55,34	
	45	Día inicial	3,74	16,5	0,760	39,52	8,88	66,62	
		Día 15	3,70	16,7	0,767	39,98	8,12	67,11	
		Día 43	3,71	16,7	0,780	37,39	8,50	62,99	
	35	Día inicial	3,74	16,5	0,760	39,52	8,88	66,62	
		Día 26	3,70	16,3	0,754	39,82	8,56	66,92	
		Día 35	3,75	16,6	0,754	39,33	8,33	66,05	
	Especificaciones técnicas:			No aplica	No aplica	No aplica	No aplica		

Finalmente, en la Cuadro 3 se presentan los atributos sensoriales de la pulpa de mango, donde se puede afirmar que las muestras en empaque E1 presentaron una estabilidad de 3 días a temperatura de almacenamiento de 45°C y 9 días a 35°C. El fallo sensorial de las muestras a 45°C y 35°C se dio por la pérdida de olor y sabor característicos, pardeamiento del producto y aparición de sabor y olor objetable (amargo y ácido) lo cual se vio reflejado en la pérdida de la calidad sensorial general del producto.

En cuanto, a las unidades experimentales almacenadas a 25°C en el mismo material de empaque (E1), la calidad general del producto se mantuvo estable hasta el día 42. El fallo de las muestras se dio por pérdida de la apariencia característica debido al pardeamiento, pérdida moderada de sabor y olor característico y aparición de olores objetables. Mientras que para las unidades experimentales en el empaque retortable E2, presentaron estabilidad de 50 días a temperatura de almacenamiento de 45°C, donde el

fallo sensorial se dio por la pérdida de olor y sabor característicos, pardeamiento del producto y aparición de sabor y olor objetable (amargo y ácido).

Para las temperaturas de 35°C, se realizó una estimación teniendo en cuenta la constante de la pérdida de calidad en el tiempo empleando el método de regresión lineal y tomando como parámetro crítico la calidad sensorial general y como límite crítico un valor de 5,0. La Figura 1, presenta la gráfica del comportamiento de los descriptores sensoriales del producto en función del tiempo.

**Cuadro 3. Atributos sensoriales de la pulpa de la pulpa de mango 100% natural pasteurizada en empaque retortable en las temperaturas de almacenamiento de 45°C, 35°C y 25°C.**

MATERIAL DE EMPAQUE	Temp (°C)	Días de almacenamiento	Atributo sensorial								
			Color	Olor característico	Olor objetable	Sabor característico	Sabor objetable	Consistencia	Calidad general	Aceptación rechazo	
E1: PE/ROPA-Cocamis/C/CPs Retortable	45	Día inicial	4,2	8,5	0,0	8,0	0,0	4,0	8,0	A	
		Día 2	5,2	7,0	1,0	6,0	1,0	4,0	5,2	A	
		Día 3	5,3	7,0	1,2	5,4	1,0	4,0	5,0	R	
		Día 6	6,0	6,0	1,8	5,0	2,0	4,0	4,0		
	35	Día inicial	4,2	8,5	0,0	8,0	0,0	4,0	8,0	A	
		Día 6	4,3	8,1	0,4	7,5	0,4	4,0	7,3	A	
		Día 9	4,3	7,6	0,4	7,0	0,4	4,0	6,7	R	
		Día 12	5,5	7,0	0,8	6,5	0,6	4,0	4,5		
	25	Día inicial	4,2	8,5	0,0	8,0	0,0	4,0	8,0	A	
		Día 21	4,2	8,4	0,0	7,9	0,0	4,0	7,9	A	
		Día 35	4,3	7,6	0,0	7,0	0,2	4,0	7,0	A	
		Día 42	4,6	7,0	0,5	6,0	0,8	3,9	5,3	R	
		Día 49	5,0	6,0	1,5	4,5	1,5	3,7	4,0		
	E2: PE/EOL/ROPA/CP/PP Retortable	45	Día inicial	4,0	9,0	0,0	8,0	0,0	4,0	8,5	A
			Día 5	4,1	8,7	0,2	7,7	0,2	4,0	7,9	A
			Día 11	4,1	8,3	0,3	7,2	0,4	4,0	7,1	A
			Día 25	4,1	7,9	0,3	7,0	0,4	4,0	6,7	A
Día 50			4,6	6,5	0,7	5,5	0,6	3,4	5,0	R	
Día 61			4,7	6,0	0,8	4,8	0,7	3,4	4,7		
35		Día inicial	4,0	9,0	0,0	8,0	0,0	4,0	8,5	A	
		Día 7	4,0	8,5	0,0	7,8	0,0	4,0	8,1	A	
		Día 15	4,0	8,4	0,0	7,6	0,0	4,0	7,9	A	
		Día 25	4,0	8,2	0,0	7,3	0,0	4,0	7,7	A	
		Día 50	4,2	7,2	0,2	6,7	0,2	3,9	6,5	A	
		Día 78	4,3	6,6	0,4	6,4	0,4	3,8	6,0	A	
		Día 102	4,3	6,3	0,4	6,0	0,4	3,8	5,6		
25		Día inicial	4,0	9,0	0,0	8,0	0,0	4,0	8,5	A	
		Día 22	4,0	8,8	0,0	7,9	0,0	4,0	8,3	A	
		Día 41	4,0	8,5	0,0	7,7	0,0	4,0	7,7	A	
		Día 81	4,1	8,0	0,0	7,0	0,0	4,0	7,0	A	
		Día 102	4,1	7,7	0,0	6,8	0,0	4,0	6,8		

Mediante la graficación de los descriptores sensoriales de la pulpa de mango 100% natural pasteurizada el empaque retortable E2: (PET/FOIL/BOPA/CCP Retortable) y almacenada a 35°C es posible extraer la ecuación de tendencia y estimar con ella la vida útil de la pulpa de mango en el empaque E2 y almacenada a 35°C. Teniendo como resultado que la vida útil del producto, con estas condiciones, es de 114 días.

Con este fallo y el obtenido para la temperatura de 45°C se obtuvo un factor Q10 de 2,28 para la temperatura de 25°C en empaque E2. Finalmente, con el valor Q10 y el tiempo de estabilidad de la pulpa de mango en el empaque retortable E2 y almacenada a 35°C, se estima el tiempo de vida útil empleando la Ecuación 2. Como resultado se obtuvo que la vida útil estimada a 25°C para la pulpa de mango 100% natural pasteurizada en el empaque retortable E2 es de 219 días o 8,6 meses.

En el Cuadro 4, se resume el tiempo de estabilidad (vida útil) de la pulpa de mango 100% natural pasteurizada en los empaques retortables E1 y E2, de donde es posible afirmar que tanto el material de empaque como la temperatura de almacenamiento, afectan el tiempo de estabilidad de la pulpa de mango, siendo, para este estudio, el empaque E2 el que conserva por un mayor tiempo los atributos sensoriales del producto.

**Cuadro 4. Tiempo de vida útil**

Material de empaque	Temperatura de almacenamiento (°C)	Tiempo de vida útil (Días)
E1: (PET/FOIL/BOPA/CCP Retortable)	45	3
	35	9
	25	42
	45	50
E2 (PET/BOPA/Ceramis / CCP Retortable)	45	114
	25	219

Estudios similares han valorado el efecto de los materiales de empaque sobre las características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales de los alimentos, evidenciando que las bolsas laminadas conservan en mayor medida los parámetros fisicoquímicos,

microbiológicos y sensoriales de los alimentos, sin embargo, para cada matriz (alimento) se hace necesario realizar un estudio mediante el cual se pueda valorar la relación costo/beneficio de los empaques (Chauhan & Patil, (2013)) (Henríquez, Córdova, Lutz, & Saavedra, (2013)).

## CONCLUSIONES

El tiempo de estabilidad (vida útil) de la pulpa de mango 100% natural pasteurizada, se ve afectada directamente por la temperatura y el material de empaque, siendo el empaque retortable E2: (PET/BOPA Ceramis /CCP Retortable) el que mantiene la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial del producto por un mayor periodo de tiempo en las temperaturas evaluadas.

## BIBLIOGRAFÍA

Chauhan, A. and Patil, V. “Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink,” *Powder Technol.*, vol. 239, pp. 86–93, 2013.

Henríquez, C; Córdova, A; Lutz, M. and Saavedra, J. “Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials : High-density polyethylene and metalized films of high barrier,” *Ind. Crop. Prod.*, vol. 45, pp. 121–127, 2013.

Latorre, V, A. L. Pantoja, D. F. Mejía España, O. Osorio, and A. M. Hurtado, “Evaluation of thermal treatments for inactivation of enzymes in fique juice,” *Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 11, no. 1, pp. 113–122, 2013.

Norma Técnica Colombiana NTC 5139, “Frutas frescas. Mangos criollos. Especificaciones.” Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), pp. 1–27, 2002.

Norma Técnica Colombiana NTC 4519, “Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Método horizontal para el recuento de microorganismos. Técnica de recuento de colonias a 30 °C,” no.

571. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), pp. 1–9, 2009.

Norma Técnica Colombiana NTC 5698, “Microbiología de alimentos y productos de alimentación animal. Método horizontal para la enumeración de mohos y levaduras. Parte 2: técnica de recuento de colonias en productos con actividad acuosa (aw) inferior o igual a 0,95,” no. 571. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), pp. 1–9, 2009.

Norma Técnica Colombiana NTC 4516, “Microbiología de alimentos y productos de alimentación animal. Método horizontal para la detección y enumeración de coliformes técnica del número más probable,” no.

571. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), pp. 1–11, 2009.

Norma Técnica Colombiana NTC 5328, “Análisis sensorial. Directrices para el uso de escalas de respuesta cuantitativa.” Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2005.

Norma Técnica Colombiana NTC 3932, “Análisis sensorial. Identificación y selección d descriptores para establecer un perfil sensorial por una aproximación multidimensional.” Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), pp. 1–5, 1996.

Resolución 3929. Ministerio de Salud y Protección Social, Colombia, 2 de Octubre de 2013.

Robertson, G, *Food packaging and Shelf life*. Taylor and Francis Group, LLC, 2010.

Villareal, D. F. Mejía, O. Oswaldo, and A. F. Cerón, “Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitaminas C en jugos de frutas,” *Rev. Biotecnol. en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 11, no. 2, pp. 66–75, 2013.

## **EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA CINÉTICA DE SECADO DE SEMILLAS DE PAPAYA SIN MUCÍLAGO**

**IVÁN GÓMEZ-BOLAÑOS, DANIEL MURILLO-JIMÉMEZ, REBECA VARGAS-  
FERNÁNDEZ, GUILLERMO VARGAS-ELÍAS**

<sup>1</sup>Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643. [ivangb05@hotmail.com](mailto:ivangb05@hotmail.com)

<sup>2</sup>Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643. [danielmurillo444@gmail.com](mailto:danielmurillo444@gmail.com)

<sup>3</sup>Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Escuela de Ingeniería de Biosistemas. (506+) 2511-6643. [rebecavf92@gmail.com](mailto:rebecavf92@gmail.com)

<sup>4</sup>Ingeniero Agrícola. D.Sc. Profesor. UCR, San José, Costa Rica. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas. (506+) 2511- 8820. [gvargase@gmail.com](mailto:gvargase@gmail.com) / [https://www.researchgate.net/profile/Guillermo\\_Vargas-Elias](https://www.researchgate.net/profile/Guillermo_Vargas-Elias)

### **RESUMEN**

Las semillas de papaya tienen gran importancia en estudios genéticos para el mejoramiento de variedades, sin embargo, la composición de esta se caracteriza por un contenido promedio de aceite de 33% y un 29% de proteína, presentando bajos porcentajes de ácidos grasos, lo cual la coloca en una posición viable como un sustituto de harinas, así como para la industria de extracción de aceites para aplicaciones alimentarias, cosméticas y farmacéuticas. Se realizaron ensayos de secado de capa delgada de semillas de papaya 3 diferentes temperaturas: 45°C, 50°C y 55°C, con el fin obtener las curvas de secado de semilla de papaya. Para el estudio se desarrolló un prototipo de monitoreo de humedad relativa y temperatura del aire en tres puntos específicos de una secadora de convección forzada: en la entrada de aire del ventilador, después de la resistencia y después de pasar por la capa de semillas de papaya, por medio de un microcontrolador Arduino Uno, en conjunto con sensores de temperatura y humedad relativa (DHT22). Se determinó el efecto de la temperatura en el tiempo de secado. Previamente se seleccionó el modelo que mejor describe la cinética de secado de la semilla correspondiente al modelo de Page, por lo que a partir de las constantes de velocidad de secado



(k) se usó la ecuación de Arrhenius para obtener la energía de activación para secado por convección forzada para semilla de papaya sin mucílago, obteniéndose un valor de  $40 \text{ KJ mol}^{-1}$  con ajuste de 99,34%.

**PALABRAS CLAVE:** modelo de Page, modelo de Arrhenius, convección forzada, cinética de secado

### ABSTRACT

Papaya seeds have great importance in genetic studies for the improvement of varieties, however, the composition of this is characterized by an average content of oil of 33% and 29% of protein, presenting low percentages of fatty acid, which it places it in a viable position as a substitute for flours, as well as the oil extraction industry for food, cosmetic and pharmaceutical applications. There were performed thin layer drying tests of papaya seeds at different temperatures:  $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , in order to obtain the drying curves of papaya seed. For this study, a prototype of relative humidity and air temperature monitoring was developed in three specific points of a forced convection dryer: in the air inlet of the fan, after the resistance and after passing through the layer of papaya seeds, by an Arduino Uno microcontroller, with the aid of temperature and relative humidity sensors (DHT22). The effect of the temperature on the drying time was determined. Previously, the model that best describes the kinetics of the drying of the seed corresponding to the Page model was selected, the constants of drying rate (k) was used for the Arrhenius equation to obtain the activation energy for forced convection drying for papaya seed without mucilage, obtaining a value of  $40 \text{ KJ mol}^{-1}$  with an adjustment of 99.34%.

**KEYWORDS:** Page model, Arrhenius model, forced convection, drying kinetic

### INTRODUCCIÓN

La demanda por frutas tropicales ha venido creciendo de manera sostenida durante las últimas dos décadas en el 2010 alcanzó los 73,02 millones de toneladas. Actualmente la papaya es la tercera fruta tropical más producida con 11,22 millones de toneladas,

equivalente al 15.36% del total de producción de frutas tropicales. Aun cuando el crecimiento en la oferta de papaya se debe en buena medida al incremento de la producción en la India, esta fruta se ha convertido en fuente de ingreso para miles de hogares y en fuente de divisas para países de Asia y de América Latina, aunque más de la mitad de las exportaciones mundiales de papaya, tienen como destino los Estados Unidos. (Evans, 2015).

La papaya (*Carica papaya* L.) es un cultivo de ampliamente apreciado por ser uno de los pocos frutales que proporciona producción continua durante todo el año después de iniciada su floración por poseer frutos con un alto valor nutritivo y por alcanzar altos rendimientos, tanto de fruta como de semillas. Se ha cuantificado que en frutos femeninos de 1000 a 1400 semillas estas se caracterizan por ser de color negro midiendo de 3,7 a 4,5 mm de largo por 2 a 2,8 mm de ancho y 2 a 2,5 mm de grueso, esféricas, cubiertas por una capa mucilaginosa (sarcotesta); de característica negruzca y arrugada (Sánchez, 2009).

El objetivo del presente documento es generar curvas y evaluar el efecto de la temperatura de secado en semillas de papaya, utilizando el prototipo automatizado de secadora presente en el Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente estudio se obtuvieron 50 papayas de la empresa Soluciones Agroindustriales del Este S.A la cual se ubica en el cantón de Guácimo en la provincia de Limón; estas son de la variedad híbrida-Pococí, cuentan con un tamaño mediano y un grado de madurez intermedio donde la fruta se encontraba con colores verde-amarillento. Se almacenaron a una temperatura 11°C en el laboratorio de tecnología poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, hasta el momento de la extracción de las semillas.

Las semillas fueron extraídas de las papayas y se almacenaron en el laboratorio de semillas del Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica, se

realizó la remoción del mucílago colocando las semillas en un procesador de alimentos doméstico. Este procedimiento se realizó por medio de lavados con agua limpia durante un minuto a velocidad baja y posteriormente las semillas fueron remojadas en agua para una mejor extracción del mucílago; este proceso de remoción se realizó dos veces para la totalidad de semillas extraídas.

Para el proceso de secado, se estableció un sistema de monitoreo en tres puntos del prototipo de secadora disponible en el CIGRAS (Figura 1), para el cual se utilizaron 3 sensores de humedad y temperatura DHT-22 modelo AM2303, este trabaja en rangos de humedad de 0-100%(±2%) y a temperaturas que van desde los -40-125°C (±0,2°C%). Los sensores se colocaron de manera que inicialmente uno de ellos permitiera monitorear las condiciones del aire de entrada del ventilador (condiciones del ambiente), otro inmediatamente después de la resistencia utilizada para calentamiento de aire y el último al final del túnel donde sale el aire, con el fin de observar el comportamiento de este a la hora de interactuar con la semilla.



Figura 1. Prototipo de secadora.

Para el secado de las semillas de papaya se trabajó con una capa delgada de material, donde se utilizaron aproximadamente 120 g de semillas de papaya por medición. Las semillas se colocaron sobre un tamiz N° 45, la cual permitió el paso del aire a tres temperaturas diferentes de 45, 50 y 55

°C por la capa de semilla con una velocidad promedio de 0.7 m/s y que además con esta se evitó la pérdida de material por gravedad.

La masa de las semillas se midió por medio de una balanza analítica marca BOECO modelo BPS 51 plus ( $\pm 0.5$ ), estos datos se tomaron en intervalos de 5 minutos, hasta llegar a una diferencia de

peso menor o igual a 0,5%. Los ensayos de las cuatro temperaturas de estudio se realizaron por duplicado para garantizar que no existiera variabilidad entre las pruebas del experimento.

La determinación de la masa seca se realizó con la ayuda de una balanza analítica marca AND modelo MF-50 ( $\pm 0.01$ ), en la cual por medio de radiación se secaron muestras de 50 g hasta alcanzar un contenido de humedad de 0.05%. Se alcanzó una masa seca de 36,25 g lo cual permite identificar que el contenido de humedad en base seca inicial de las semillas es de 233% aplicando la ecuación 1.

$$CH\ bs\ (\%) = 100 * \frac{m(t) - m(f)}{m(f)} \quad (1)$$

Donde

CH bs: contenido de humedad en base seca [%]

m(t): masa de la muestra en cualquier instante [g]

m(f): masa seca [g]

Posteriormente se obtuvo la razón de humedad experimental para cada uno de los resultados, esto se calculó como el contenido de humedad en cualquier tiempo, menos la humedad de equilibrio, entre el contenido de humedad inicial menos la humedad de equilibrio, como se muestra en la ecuación:

$$RH = \frac{CH(t) - CH(e)}{CH(i) - CH(e)} \quad (2)$$

Donde

RH: razón de humedad de la muestra en un tiempo determinado [adm]

CH(t): contenido de humedad de la muestra en cualquier momento [%]

CH(i): contenido de humedad inicial [%]

CH(e): contenido de humedad de equilibrio [%]

### Elaboración de curvas de secado, efecto de la temperatura y energía de activación

Se elaboraron las curvas de secado a partir del contenido de humedad en base seca de la semilla con respecto al tiempo y la razón de humedad con respecto al tiempo. Se determinó el efecto que

la temperatura tiene en la velocidad y tiempo de secado y se aplicó a partir de los resultados obtenidos, el modelo de Page representado ecuación 3.

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (3)$$

Tomando como referencia los resultados obtenidos anteriormente del modelo de Page, se procedió a determinar la energía de activación para la cual se realizó un gráfico que tiene los valores de  $1/T$  (siendo  $T$  la temperatura absoluta en Kelvin) como variable independiente y el logaritmo natural de la constante de velocidad de secado “ $K$ ” como variable dependiente, según se establece en la teoría el comportamiento de la curva debe ser lineal lo que también se conoce como modelo de Arrhenius.

$$y = m * x + b \quad (4)$$

$$\ln(k) = -\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A \quad (5)$$

Donde

$\ln(k)$ : constante cinética del sistema [adm]

$A$ : factor preexponencial o factor de frecuencia [adm]

$Ea$ : energía de activación [J/mol]

R: constante universal de los gases [J/K/mol]

T: temperatura absoluta [K]

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos previamente en la búsqueda del modelo matemático que mejor se ajuste a la curva de razón de humedad obtenida a partir de las mediciones de masa de semilla se obtuvo que el mejor ajuste corresponde al de Page, en general todos los ensayos a las 3 temperaturas presentaron ajustes superiores al 99%. En el Cuadro 1, se puede observar que existe un efecto asociado a la temperatura de secado con respecto a la velocidad de secado de la semilla, tal y como se esperaba al aumentar la temperatura de secado la constante tiende a aumentar también, presentando un valor de  $0.170 \text{ min}^{-1}$  para una temperatura de  $55^\circ\text{C}$ . Esto se puede ejemplificar de mejor manera en la Figura 2 donde se presentan las curvas de secado para las 3 temperaturas.

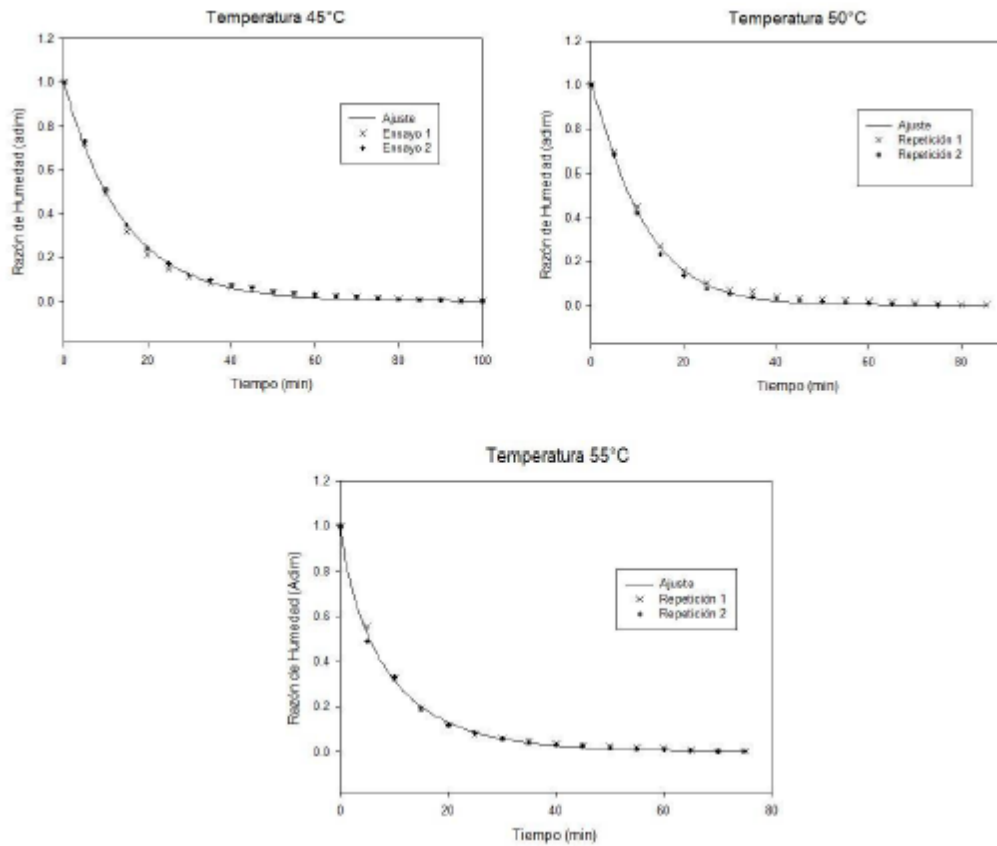


Figura 2. Razón de humedad respecto al tiempo observado y ajustes del modelo de Page para las tres temperaturas del experimento

Los datos de las dos repeticiones pueden ser tratados como un solo set de información, ya que al determinar las curvas de mejor ajuste con el modelo de Page se observa que el comportamiento de la constante de secado ( $k$ ) se promedia al ser tratados los datos como un todo; es decir, para el primer ensayo a 50°C el valor de  $k$  corresponde a  $0,065 \text{ h}^{-1}$ . Para el segundo ensayo se obtuvo un valor de  $0,069 \text{ h}^{-1}$ , al calcular este parámetro utilizando un ajuste entre las dos mediciones se obtuvo un  $k$  de  $0,0677 \text{ h}^{-1}$ , por lo cual se decidió trabajar con los datos totales y no separarlos por mediciones.

Cuadro 1. Temperaturas de secado y constantes determinadas del modelo de Page.

T. de secado		Coef.	Const. de secado	Coef.	Coef.	Const. de secado	Coef.	Coef.
Ts (°C)	Ts (K)	$T_s^{-1}(10^{-3} \text{ K}^{-n} \text{ (dec.)})$	k (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	n (dec.)	k (min <sup>-1</sup> )	Ln(k)	R <sup>2</sup>
		1)						
45	318.15	0.0031	1.001	0.069	0.997	0.972	0.075	-2.58 0.996
50	323.15	0.0030	1.088	0.068	0.996	0.972	0.092	-2.38 0.995
55	328.15	0.0030	0.830	0.170	0.998	0.972	0.119	-2.12 0.995

A partir de los resultados obtenidos anteriormente se demuestra en la Figura 3 que las curvas obtenidas 45°C, 50°C y 55°C presentan comportamientos similares a los esperados puesto que a mayor temperatura la curva de decaimiento de masa y por ende de razón de humedad presenta una pendiente mayor.

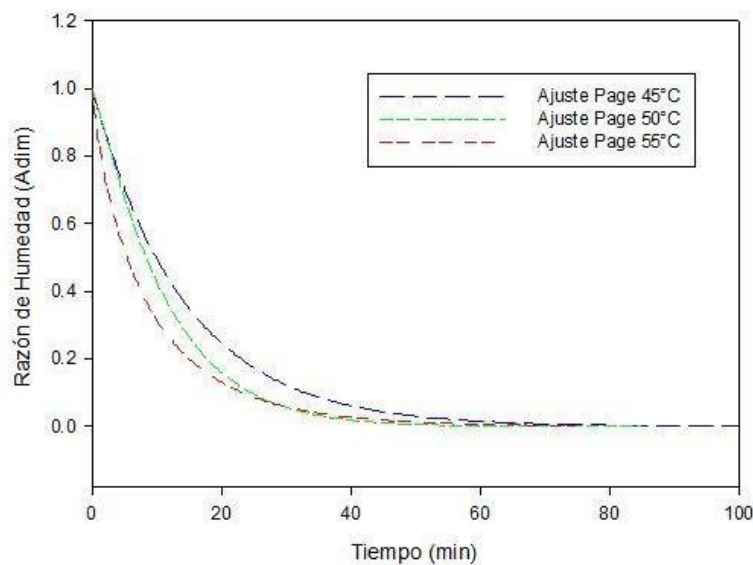


Figura 3. Razón de humedad respecto al tiempo de secado de semilla de papaya a diferentes temperaturas.

Se puede observar en el Cuadro 1 que existe variabilidad en los valores del coeficiente n para cada una de las temperaturas, esto implica que el ajuste del modelo se realiza producto de dos variables, restándole significancia a la variable más importante como lo es la constante de



velocidad de secado, por esta razón se obtuvo el promedio de la variable  $n$  y se fijó el valor en las condiciones iniciales con el fin de que el modelo se ajuste únicamente al valor de  $k$ , de esta manera se obtiene un ajuste más preciso del modelo de Arrhenius, pasando de un ajuste del 77% al 99%, la representación del ajuste se presenta en la Figura 4.

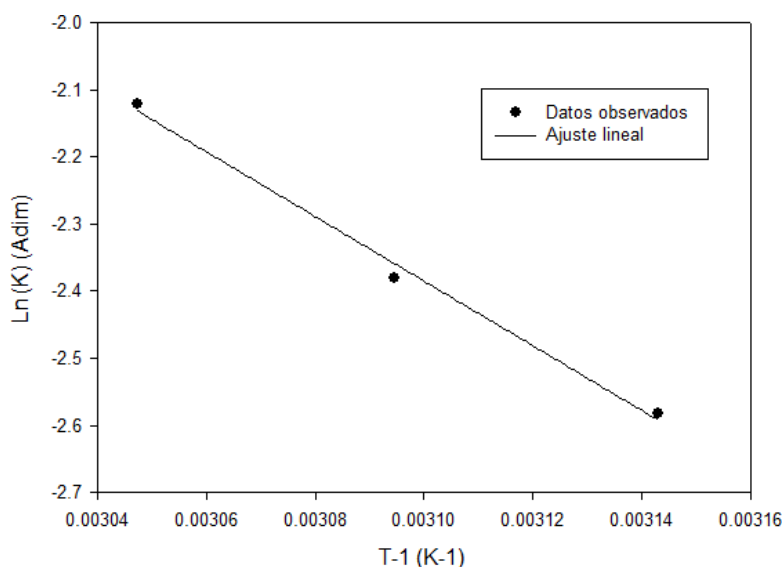


Figura 4. Ajuste lineal para la curva de energía de activación.

Utilizando un modelo lineal para curva presentada anteriormente, se obtiene la siguiente expresión con un ajuste del 99.3%.

$$\ln(k) = -4811.49 \left( \frac{1}{T} \right) + 12.53(6)$$

**Cuadro 2.** Parámetros obtenidos de regresión lineal en energía de activación.

Variable	
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9934
<b>m (pendiente)</b>	-4811.50
<b>b (intercepto)</b>	12.53
<b>Constante de los gases (J K<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>)</b>	8.31
<b>Energía de Activación (J mol<sup>-1</sup>)</b>	-40004.25

Por lo que se puede afirmar que la energía de activación para secado de semilla de papaya sin mucílago, por medio del método de convección forzada considerando una constante de los gases de  $8.31 \text{ J/K/mol}$  sin mucílago corresponde a  $40 \text{ KJ mol}^{-1}$ , esto concuerda con lo reportado por (Zogzas et al, 1996) quienes desarrollaron una estimación de la energía de activación de productos agrícolas los cuales establecen un intervalo entre  $12,7$  a  $110 \text{ KJ mol}^{-1}$ .

### CONCLUSIONES

El modelo de Page brinda los ajustes con menor porcentaje de error, por lo que evidencia la capacidad superior que tiene los modelos de carácter teórico para predecir el comportamiento del proceso de secado.

A partir del modelo de Arrhenius se puede establecer una predicción de la constante de secado de semillas de papaya sin mucílago en función a la temperatura de secado, sin necesidad de realizar pruebas adicionales, ya que se demostró que el modelo presenta un ajuste superior al 99%.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Evans, E. (2015). *Una mirada a la producción, el comercio y el consumo de papaya a nivel mundial*. IFAS Extension, Florida, pp. 1–7,.

Sanchez, L. (2009) *Efecto del secado en semillas de Papaya (Carica papaya L.) en la calidad a través del Tiempo*, Universidad Autónoma Agraria.

Zogzas, N. P., Marulis, Z. B., Mariinos-Kourisd. (1996). *Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs*. Drying Technology, 14 (10): 2225–2253

## CINETICA DEL SECADO CON AIRE CALIENTE EN SEMILLA DE PAPAYA LOW TEMPERATURE AIR DRYING KINETICS IN PAPAYA SEEDS

SÁNCHEZ SALMERON, NATALIA<sup>1</sup>, VARGAS-ELÍAS, GUILLERMO<sup>2</sup>,  
VALERIO, OVIDIO.<sup>3</sup>, BARBOZA BARQUERO, LUIS.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica (UCR), San José, Costa Rica. [natali2788@gmail.com](mailto:natali2788@gmail.com) <sup>2</sup>Ingeniero Agrícola. D. Sc. Profesor, CIGRAS-UCR, San José, Costa Rica. (506+) 2511-8820. [gvargase@gmail.com](mailto:gvargase@gmail.com) <sup>3</sup>Ingeniero Agrícola. Profesor, CIGRAS-UCR, San José, Costa Rica. (506+) [2511-8820.ovidio.valerio@ucr.ac.cr](mailto:2511-8820.ovidio.valerio@ucr.ac.cr)

<sup>4</sup>Ingeniero Agrónomo, Ph. D. Profesor, CIGRAS-UCR, San José, Costa Rica. (506)2511-3424, [luisorlando.barboza@ucr.ac.cr](mailto:luisorlando.barboza@ucr.ac.cr)

### RESUMEN

El secado en las semillas de papaya es un proceso importante para su preservación y comercialización, donde se debe reducir el contenido de humedad sin afectar la calidad de germinación. El objetivo de la presente investigación es estudiar el secado de capa fina por convección forzada, para determinar un modelo matemático que represente la cinética de secado en la semilla de papaya sin producir daño en su germinación. Se utilizaron semillas de papaya de la variedad Híbrido Pococí. Se utilizó una secadora de flujo transversal para reducir la humedad a su punto de equilibrio con temperaturas de 25°C, 30°C y 35°C. La cinética de secado se analizó con los modelos de Page, Lewis, Henderson-Pabis y Logarítmico. Se encontró que el modelo logarítmico es el que mejor representa el proceso de secado ( $R^2=0,99$ ). Se determinó que la temperatura óptima para germinación corresponde a 30°C. Los resultados anteriores son importantes para el diseño industrial de una secadora para la línea de procesamiento de semillas de papaya.

**PALABRAS CLAVES:** Papaya Híbrido Pococí, Modelos matemáticos, Proceso de deshidratación, Calidad Germinativa, Temperatura secado.

## ABSTRACT

Papaya seed drying is an important process for its preservation and commercialization, as the moisture content has to be reduced without altering the seed germination. El purpose of the following work is to describe the thin layer drying of papaya seeds by forced convection, determined as a mathematical model which characterizes seed drying kinetics. The variety of papaya used was *Hibrido Pococí*. A vertical flow dryer was used to reduce moisture content to the equilibrium point for temperatures of 25°C, 30°C and 35°C. Drying kinetics was analyzed with the Page, Lewis, Henderson-Pabis and logarithmic models. It was determined that the logarithmic model has the best representation of the process ( $R^2=0,99$ ). The optimal temperature for germination was 30°C. The previous results are important for an industrial dryer design for papaya seeds.

**KEYWORDS:** Hybrid Pococí Papaya, Mathematical models, Dehydration process, Germination quality, drying temperature.

## INTRODUCCIÓN

El secado de las semillas es un proceso que se debe de llevar a cabo con cuidado para no afectar la viabilidad de las mismas; donde hay un cambio simultáneo de calor y masa entre el aire del ambiente de secado y el producto para reducir el contenido de humedad hasta un nivel adecuado que no genere problemas en el almacenamiento, en la germinación que impida el crecimiento de hongos y el deterioro (Martinello, 2015). Sin embargo cada semilla y grano tienen distintos niveles de humedad para su conservación, evitando el daño.

En Costa Rica el secado de las semillas de papaya se realiza mediante la acción de flujo con ventiladores pero sin control de parámetros como la velocidad, la temperatura, y condiciones de humedad. Esto evidencia una necesidad de estudiar el proceso de secado en más detalle para tener un protocolo que sea preciso, accesible y estable a través de las condiciones del país.

Por tal razón el objetivo de la investigación es desarrollar un modelo matemático que represente la rapidez del secado mecánico en capa delgada en la semilla de papaya. El

modelo antes mencionado permitirá determinar las variables necesarias para establecer el contenido de humedad de equilibrio, las temperaturas y las velocidades de secado que requiere el producto sin perjudicar el índice de germinación y así optimizar las condiciones de este proceso.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación de Granos y Semillas (CIGRAS) de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica.

Se manejaron semillas de papaya (*Carica papaya* L.) de la variedad Híbrido Pococí, que fue mejorada genéticamente por el personal de la Universidad de Costa Rica y del Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA), obteniendo híbridos con alta producción y mejor calidad con respecto a años anteriores (Mora y Bogantes, 2004). En total se utilizaron 265 gramos de semillas obtenidas de 14 papayas producidas en la Estación Experimental Los Diamantes ubicada en Guápiles, Pococí, Limón, Costa Rica. Las pruebas fueron realizadas entre el 16 de agosto y 8 de setiembre del 2017.

La extracción de la semilla se realizó de manera manual, posteriormente para el proceso de limpieza, se utilizó un procesador de alimentos comercial de la marca Hamilton Beach y un regulador de voltaje en 60 V, en donde se colocaron 20 g de semillas y 200 mL de agua, y se aplicaron tres repeticiones en el procesador por un minuto cada una, después de cada repetición las muestras fueron pasadas por un colador de cocina convencional para eliminar el agua sucia y el mucílago (conocido comúnmente como arilo) desprendido de la semilla. Este proceso se realizó con todas las semillas obtenidas.

Las semillas limpias fueron sumergidas en un litro de agua destilada con 12 mL de ácido Giberílico, que es un reactivo que ayuda a la germinación, dejando en remojo por dos horas.

Para el proceso de secado, las semillas fueron divididas en tres muestras con un promedio de 87,5 gramos y colocadas en una secadora experimental de convección forzada en una capa fina con un autotransformador a 120 V y 40 A; cada muestra fue secada a diferentes

temperaturas con una velocidad promedio de 1,55 m/s. Las temperaturas seleccionadas para esta prueba fueron de 25, 30 y 35 °C. El tiempo de proceso fue de aproximadamente 1 hora, con observaciones cada 15 minutos donde se registró la pérdida de masa hasta alcanzar una condición de equilibrio.

Con las semillas secadas a las distintas temperaturas, se procedió a realizar pruebas en el horno de convección a 105°C por 24 horas para determinar el contenido de humedad de las mismas. Se utilizaron 14 gramos de semillas en promedio de las tres temperaturas y estos a su vez fueron divididos en tres muestras, colocadas en distintos contenedores de aluminio. Se registro la masa de las muestras antes y después de la prueba. Se realizaron en total 3 pruebas en el horno cada una con tres muestras.

El cálculo de la pérdida de masa de la semilla para cada muestra se basó en la diferencia de masa antes y después del proceso, según la Ecuación 1.

$$M = 100 \cdot \left( \frac{m_c - m_t}{m_c} \right) \quad (1)$$

M es la pérdida de masa de la semilla (%).

mc es la masa de la semilla antes de la prueba (g).

mt es la masa de la semilla después de la prueba (g).

Se calculó el promedio del contenido de humedad de las semillas para cada temperatura al final del secado, cuando estas adquirieron la condición de equilibrio. El contenido de humedad fue calculado durante la prueba de secado con la Ecuación 2

$$X_n = 1 + (X_o - 1) \cdot \left( \frac{M_o}{M_n} \right) \quad (2)$$

Xn es el contenido de humedad en el tiempo  
t de secado (decimal).

$X_0$  es el contenido de humedad en condición de equilibrio (decimal)

$M_0$  es la pérdida de masa de la semilla (g).

$M_n$  es la masa final de la semilla en el tiempo  $t$  de secado (g).

Se realizó la prueba de germinación en 50 semillas para cada temperatura de secado. La prueba fue realizada en 4 muestras, con humedad relativa de 100 % y se realizaron revisiones del crecimiento y estado de las plántulas durante un mes.

El Cuadro 1 muestra los cuatro modelos matemáticos de capa fina utilizados para desarrollar las cinéticas de secado.

Cuadro 1. Modelos matemáticos de secado utilizado en capa fina.

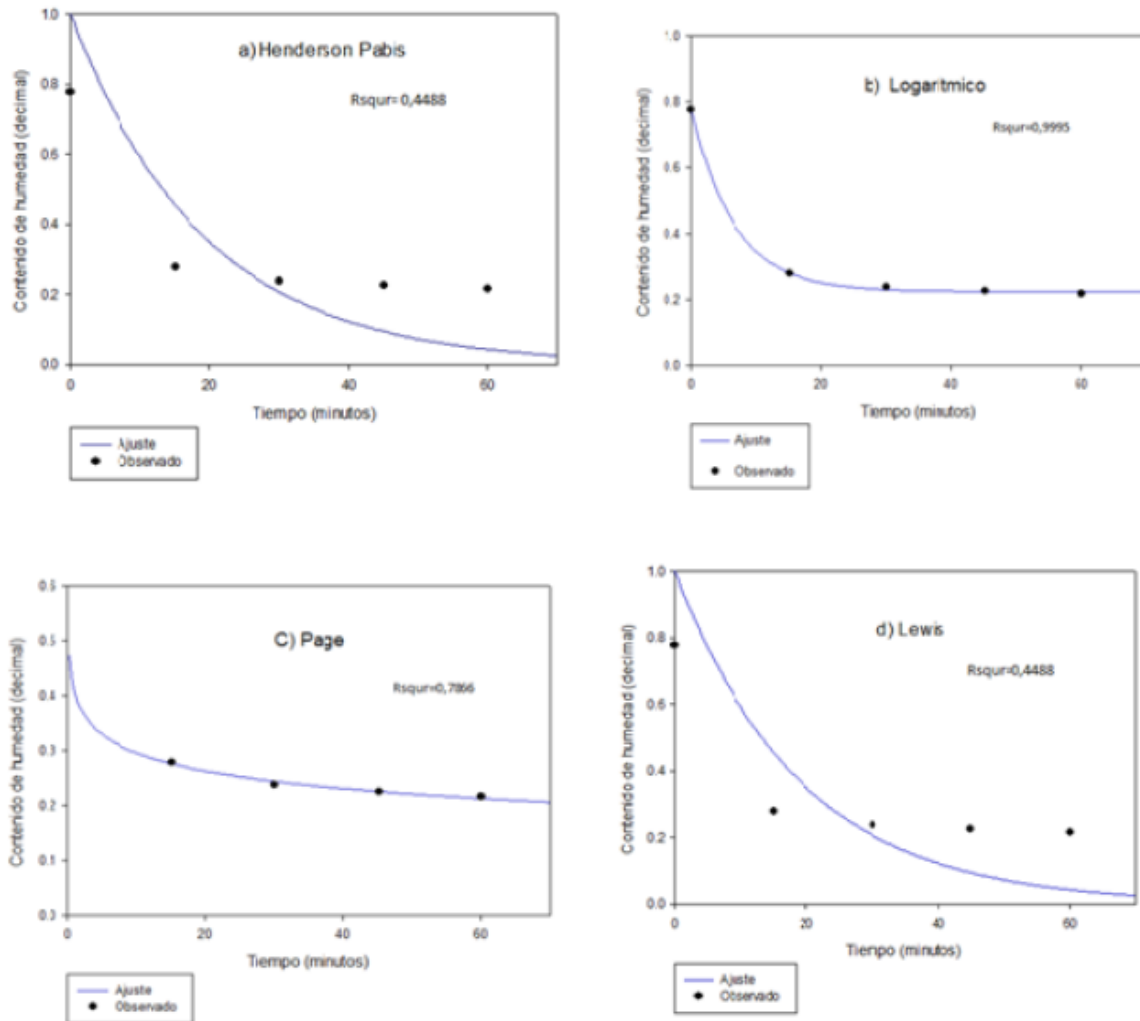
	Nombre	Ecuación*	N°	Referencia
1	Page	$M_R(t) = \exp(-kt^n)$	(3)	(Page, 1949)
2	Henderson–Pabis	$M_R(t) = a \cdot \exp(-kt)$	(4)	(Henderson and Pabis, 1961).
3	Lewis	$M_R(t) = \exp(-kt)$	(5)	(Bruce, 1985)
4	Logarítmico	$M_R(t) = a \cdot \exp(-kt) + b$	(6)	(Togrul and Pehlivan, 2002)

\*  $a, b, k, n$  son constantes para determinar en cada modelo.

Posteriormente con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis estadístico y los ajustes se desarrollaron por regresión no lineal con el programa Sigmaplot13.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se observan los cuatro modelos analizados para 25 °C, el modelo logarítmico fue el que presentó un mejor ajuste con  $R^2$  de 0,9995.



**Figura 1.** Cinética de secado de semillas de papaya a 25°C en cuatro modelos matemáticos.

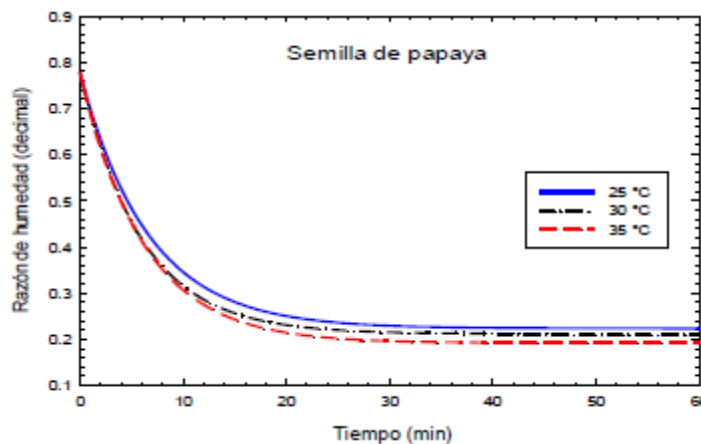
En el cuadro 2 se observan los parámetros obtenidos para las temperaturas de 30 y 35°C.



**Cuadro 2.** Parámetros de los modelos matemáticos para dos temperaturas.

Modelo a 30°C	a (dec)	k (min <sup>-1</sup> )	b (dec)	n (dec)	R <sup>2</sup>	Error. E.
Page	-	1,0689	-	0,0950	0,8126	0,1106
Henderson-Pabis	0,6828	0,0301	-	-	0,7409	0,1300
Lewis	-	0,0520	-	-	0,3824	0,1795
Logarítmico	0,5675	0,1697	0,2115	-	0,9997	0,0049
Modelo a 35°C						
Page	-	1,0772	-	0,1056	0,8306	0,0911
Henderson-Pabis	1,000	0,0480	-	-	0,3059	0,1707
Lewis	-	0,0480	-	-	0,3059	0,1707
Logarítmico	0,5851	0,1626	0,1917	-	0,9985	0,0093

Para ambas temperaturas se determina que el modelo logarítmico es el que presenta mejores ajustes con respecto a los otros modelos analizados, teniendo R<sup>2</sup> mayor a 0,99. En la figura 2 se muestra que para las tres cinéticas de secado de las temperaturas, el ajuste logarítmico representa un mejor arreglo de las curvas de acuerdo a los datos experimentales y que es confirmado por los valores del R<sup>2</sup> que se presentan a continuación en el cuadro 3.



**Figura 2.** Ajuste logarítmico de la cinética de secado de la semilla de papaya.

En el cuadro 3 se determinó que la temperatura a 25 y 30°C son representados adecuadamente. El menor ajuste fue para 35 °C, con un R<sup>2</sup> de 99,85 %. Se observa que los

coeficientes del modelo a y b tienen una proporcionalidad con la temperatura, no así con el valor de la constante de secado.

**Cuadro 3.** Parámetros del proceso y constantes determinadas del modelo Logaritmo.

Temperatura de secado			Valor a	Valor b	C. Secado <sup>1</sup>	Ln (k)	C. D. <sup>2</sup>	E.E. <sup>3</sup>
T (°C)	T (K)	T <sup>-1</sup> (10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	(dec.)	(dec.)	k (min <sup>-1</sup> )	(dec.)	R <sup>2</sup>	(dec)
25	298,15	3,3540	0,5535	0,2233	0,1510	-1,4992	0,9995	0,0077
30	303,15	3,2987	0,5675	0,2115	0,1697	-1,5535	0,9997	0,0049
35	308,15	3,2452	0,5851	0,1917	0,1626	-1,6518	0,9985	0,0093

<sup>1</sup>Constante de secado <sup>2</sup>Coefficiente de determinación, <sup>3</sup>Error Estándar

Este trabajo es un esfuerzo por secar la semilla a baja temperatura de forma controlada y sin afectar la calidad biológica del material; las condiciones de secado de 25 y 30 °C presentan una relación proporcional entre la rapidez del secado y la temperatura del aire como en la Figura 3.

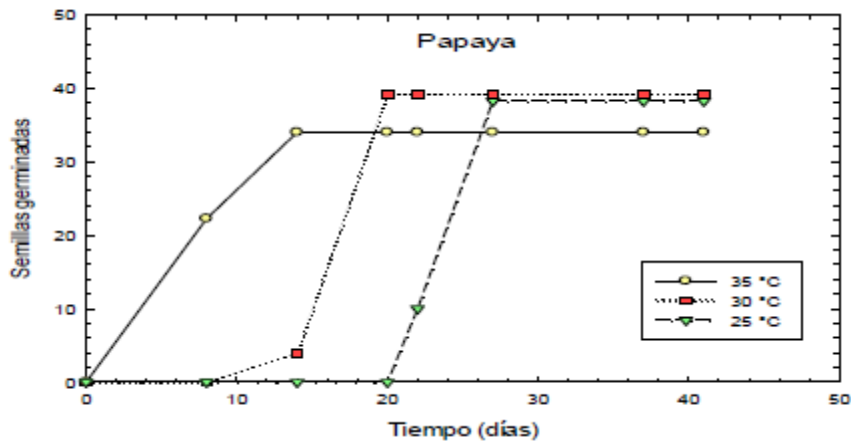


**Figura 3.** Relación entre la temperatura y la constante de secado en semilla de papaya.

La primera aproximación para modelar la velocidad del secado se deriva de la figura 4, a partir de ecuación de Arrhenius, para determinar la energía activación en 15.547,86 j/mol y el factor preexponencial de 179,15. La constante puede tener la forma de la ecuación 3.

$$k = 179,15 \cdot \exp \left[ \frac{-15.547,86}{8,3145(T + 273,15)} \right] \quad (3)$$

Con los resultados de las pruebas de germinación en el laboratorio se procedió a realizar un análisis para observar la tasa de desarrollo de las semillas con respecto al tiempo y la temperatura como se observa en la figura 4.



**Figura 4.** Tasa de germinación en 50 semillas de papaya después del secado a tres temperaturas

En la figura 4 se observa que la temperatura de 30°C es la que presenta una tasa de germinación mayor en un período menor de días con respecto a las otras temperaturas. Teniendo una cantidad de 41 semillas germinadas en 15 días aproximadamente, con una germinación del 82%.

### CONCLUSIONES

El secado en las semillas de papaya a una temperatura de 30°C es una temperatura óptima que no altera su efecto en la germinación y que genera un alto valor de coeficiente de determinación en aplicación del modelo.

El modelo matemático Logarítmico representa adecuadamente el proceso de secado, pudiendo determinar las variables como la temperatura y el contenido de humedad de

equilibrio que requiere el producto sin perjudicar la germinación y de esta manera optimizar las condiciones del proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bruce, D. (1985). *Exposed- layer barley drying, three models fitted to new data up to 150°C*. Journal of Agricultural Engineering Vol 32:337-347.

Henderson, M; Pabis,S. (1961). *Grain Drying Theory II. Temperature effects on drying coefficients*. Journal of Agricultural 44:1111-1122.

Martinello, M. (2015). *Modelado del secado en granos en lecho fijo a bajas temperaturas de aire*. Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina

Mora, E; Bogantes, A. (2004). *Evaluación de híbridos de papaya (Carica papaya) en Pococí, Limón, Costa Rica*. Agronomía Mesoamericana 15(1): 39-44.

Page, G.(1949). *Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers*.

M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University

Togrul, I; Pehlivan, D. (2002). *Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers*. Journal of Food Engineering. Vol 55: 209-216

## ADAPTACÃO DE UM MODELO DE TEMPERATURA DOS GRÃOS DE CAFÉ NA TORREFAÇÃO

### TEMPERATURE MODEL ADAPTATION OF COFFEE IN THE ROASTING PROCESS

Guillermo A. Vargas-Elías<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Agrícola. D. Sc. Profesor, CIGRAS-UCR, San José, Costa Rica. (506+) 2511-8820. gvargase@gmail.com

#### RESUMO

Objetivou-se com este trabalho ajustar um modelo de aquecimento para representar a cinética da temperatura dos grãos durante a torração do café. Foram usadas amostras de 350 g de grãos beneficiados retidos em peneira 17 e 18, de café arábica com teor de água de  $0,1032 \text{ kg}_{\text{água}} \square \text{kg}_{\text{produto}}^{-1}$  ( $\text{kg}_a \square \text{kg}^{-1}$ ). Usou-se um torrador de cilindro giratório a queima constante de gás, cujas temperaturas iniciais foram de 290, 310, 345 e 380 °C, que diminuíram exponencialmente durante a operação até se equilibrar em 246, 269, 295 e 340 °C, respectivamente. O aquecimento dos grãos foi contínuo durante todo o processo. A cinética do aquecimento dos grãos dependeu da temperatura do torrador, onde a máxima taxa de aquecimento foi para os grãos submetidos à máxima temperatura de torrefação. Foi adaptado o modelo matemático de aquecimento dos grãos, considerando que calor do torrador é usado tanto para aquecimento da massa quanto para evaporação da água na superfície dos grãos. Observou-se que o processo de torrefação foi realizado em condições não isotérmicas da parede. O modelo múltiplo exponencial que foi utilizado para aquecimento dos grãos durante a secagem foi adaptado adequadamente às condições de operação do torrador para representar a cinética do aquecimento do café durante a torrefação com  $r^2$  acima de 0,98.

#### PALAVRAS CHAVE

Grano de Café, temperatura del grano, tostador convencional, modelo de calentamiento.

**ABSTRACT:** In this research, the relationship between the variation rate of temperature of coffee beans and the initial roaster temperature was determined. Samples of 350 g of arabic green coffee beans with moisture content of  $0.1032 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{product}}^{-1}$  ( $\text{kg}_w/\text{kg}_p^{-1}$ ) were used. A burning gas roaster drum with initial temperatures of 290, 310, 345 e 380 °C was used. While maintaining gas burned in constant rate, the roaster initial temperature decreased to equilibrium exponentially at 246, 269, 295 and 340°C, respectively. It was observed that coffee roasting process is non-isothermal process. The grains temperature was increased in roasting time. The rate increasing grain temperature depended of roaster temperature conditions. As the roaster temperature increased, the temperature grains rate increased as well, reducing significantly the total time. The temperature kinetics model developed for grain drying was adapted for roasting process, which set up properly with  $r^2$  of 0.98.

**KEYWORDS:** Coffee bean, Grain temperature, Drum roaster, Heating model.

## INTRODUÇÃO

A torração é um processo de tratamento térmico onde os grãos beneficiados são aquecidos até produzir mudanças físicas e químicas desejáveis, como a cor e o aroma característico do café (RUOSI et al., 2012). A torrefação ou torração é um processo complexo onde há transferência simultânea de calor e massa no café, envolvendo tanto a remoção de água quanto às mudanças na cor e no sabor (PUTRANTO; CHEN, 2012). Com a torração é agregado valor ao produto não entanto, tal processo é considerado uma das etapas mais críticas da industrialização. A torração por si só, não pode fazer um café especial ou tornar um café comum em especial, mas pode contribuir na perda da qualidade (REZENDE et al., 2007).

Os torradores podem ser classificados segundo seu projeto mecânico, pela transmissão de calor e pelo tipo de operação, seja contínua ou batelada (BONNLÄNDER et al., 2005). Os torradores nomeados de leito fluidizado funcionam com ar aquecido em condições

isotérmicas onde a transferência de calor ocorre por convecção pura, diminuindo significativamente o tempo de torra e produzindo uniformidade na torra do café (PERRONE et al., 2010; WANG; LIM, 2013). No torrador de cilindro horizontal os grãos aquecem devido às diversas formas de transferência de calor: condução, radiação e convecção natural (FABBRI et al., 2011). As condições de operação variam segundo o tipo de torrador, por exemplo, as temperaturas variam entre 240 e 270 °C em 5 min. para o torrador tipo leito fluidizado, já o torrador horizontal precisa aquecer entre 400 e 500 °C com tempos entre 8 e 20 min (BASILE; KIKIC, 2009).

Na perda de massa do café podem-se diferenciar as fases da secagem e da torra (WANG; LIM, 2013), na primeira etapa predomina a remoção de água e eliminação de compostos voláteis, e na segunda fase iniciam-se as reações exotérmicas liberando principalmente compostos orgânicos e dióxido de carbono (FRANÇA et al., 2009). O mecanismo exotérmico pode ser estudado a partir do modelo de aquecimento dos grãos (HERNÁNDEZ et al., 2008). O mecanismo de aquecimento depende da transferência de calor efetiva, já que os grãos atingem a temperatura em diferentes taxas para iniciar a pirólise em tempos diferentes.

Sendo o torrador de cilindro horizontal utilizado amplamente, na indústria brasileira, se objetivou com esse trabalho determinar a relação entre a temperatura dos grãos e a temperatura do torrador durante a torração do café e adaptar o modelo físico de aquecimento dos grãos.

## METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Qualidade Sensorial e Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), do Departamento de Engenharia Agrícola, localizado na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais.

Foram utilizados grãos de café *Coffea arabica* L., var. Catuaí amarelo, com teor de água inicial de 10,32% b.u., provenientes de uma beneficiadora de café localizada em Coimbra,

MG. Os grãos foram avaliados sensorialmente com qualidade da bebida mole e foram classificados por forma e tamanho. Foram selecionados aqueles grãos sem defeitos e retidos nas peneiras n° 17 e 18, homogeneizados e divididos em amostras iguais.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno e armazenadas em câmara fria à temperatura em torno de 20 °C, a fim de se manterem as características do produto até sua torrefação. Antes das operações de torrefação, as amostras foram retiradas da câmara fria e expostas à temperatura ambiente por aproximadamente 6 horas, visando atingir o equilíbrio térmico para minimizarem as alterações relacionadas à temperatura.

Foi utilizado um torrador a gás de combustão direta marca Rod-Bel, com cilindro perfurado em movimento rotativo a 45rpm, com queima constante de gás durante cada torra. Utilizou-se o termômetro infravermelho, marca Mult-Temp portátil, que fornece leituras entre -50 e 500 °C com tempo de resposta de 1 s e resolução de 1 °C, em distância de 20 cm entre o medidor e o alvo. As temperaturas de torração foram verificadas na superfície interna do cilindro em movimento 380, 345, 310 e 290 °C a cada 1 min como se observa na Figura 1. Foram feitas duas leituras na parede do cilindro para calcular a média de temperatura do torrador no início do processo. Foi necessário preaquecer o torrador até se manter estável a temperatura e após disso, foram colocadas as amostras de 350 g de grão cru.

A temperatura do café foi determinada com os grãos em movimento durante o processo a cada 30 s. A distância entre o medidor e os grãos foi de 25 cm, conforme a Figura 1.





Figura 1 - Medição da temperatura na parede interna do torrador e da massa dos grãos de café.

Considerando os princípios básicos da teoria da secagem de camada fina com ar quente (Pabis et al., 1998), o calor transferido ao sólido é usado para aumentar a temperatura do grão e para evaporar a água, a solução deste modelo é segundo a Equação 1.

$$T = T_a + \frac{S}{B - K} \left[ \exp(-K \cdot t) - \exp(-B \cdot t) \right] + (T_0 - T_a) \exp(-B \cdot t) \quad (1)$$

em que

T: temperatura do grão em qualquer momento (°C); T<sub>a</sub>: temperatura da parede do torrador no início (°C); T<sub>0</sub>: temperatura do grão no início (°C);

t: tempo do processo (min); e

S, B, K: constantes a determinar por regressão não linear.

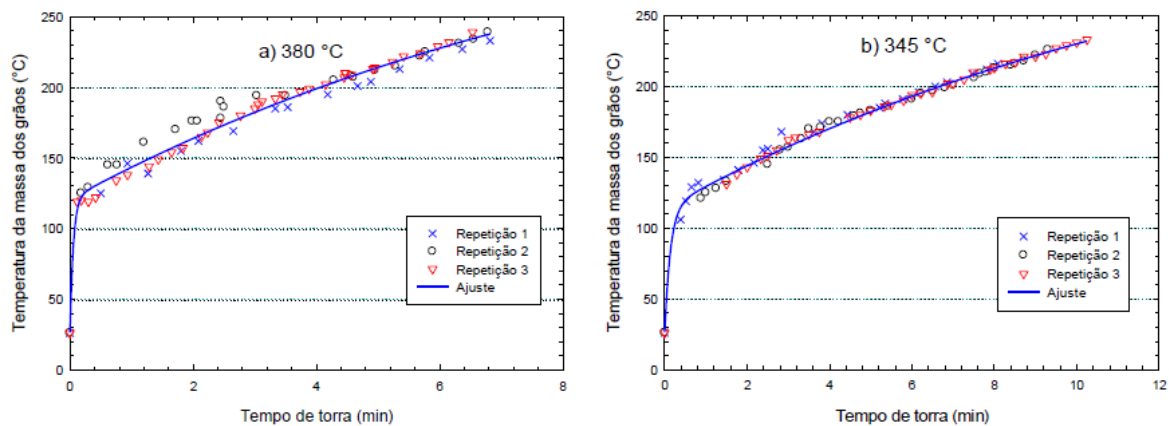
O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, tendo as quatro temperaturas do torrador (290, 310, 345 e 380°C) e o tempo; como variáveis independentes e sendo a temperatura dos grãos a variável resposta, para todos os tratamentos foram feitas três repetições.

Para os ajustes dos modelos matemáticos, foi utilizado o programa computacional SIGMA PLOT 12.0. Para verificar o grau de ajuste dos modelos, foi considerado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do erro médio relativo (P) e do desvio-padrão da estimativa (SE).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No início da torra, a temperatura da superfície dos grãos aumentou bruscamente devido ao elevado gradiente térmico entre o torrador e os grãos ( $T_i - T_0$ ), que foi superior a  $265\text{ }^\circ\text{C}$ . O aumento significativo da temperatura na superfície dos grãos foi efeito do tipo do torrador, onde o calor foi transferido por condução, convecção e radiação (FABBRI et al., 2011).

Na Figura 2, observa-se que nas três repetições a evolução térmica dos grãos foi semelhante, contínua e crescente durante todo o processo. A cinética da temperatura na superfície dos grãos concorda com outras pesquisas, onde no início da torrefação é crescente e em forma exponencial (HERNÁNDEZ et al., 2007; BOTTAZZI et al., 2012), chegando ao final com tendência linear (FRANÇA et al., 2009; BOTELHO, 2012).



**Figura 3.** Cinética do aquecimento dos grãos de café a temperaturas do torrador de  $380\text{ }^\circ\text{C}$  (a) e  $345\text{ }^\circ\text{C}$ .

Ainda na Figura 2, observa-se o ajuste dos modelos para as temperaturas de torra de  $380$  e  $345\text{ }^\circ\text{C}$ , também foram realizadas as  $310$  e  $290\text{ }^\circ\text{C}$ . Na temperatura de  $345\text{ }^\circ\text{C}$ , os grãos apresentaram semelhanças na cinética do aquecimento em torras com  $10$  min; portanto

nessa condição, podem-se obter grãos torrados mais uniformes e cumprindo a norma do tempo de torra recomendada (OIC, 2014).

O modelo ajustou-se adequadamente os dados segundo se observa nas bandas de predição para 95 % de probabilidade. Na Tabela 1 pelos valores obtidos na análise estatística pode-se inferir que o modelo foi ajustado adequadamente para cada temperatura do torrador com magnitude do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) maior que 0,98, as constantes B, S e K do modelo foram determinados com valor-p menor a 0,0001. Tabela 1 – Resultados da análise de regressão não linear dos valores de B, S e K para representar a cinética da temperatura dos grãos de café durante o processo de torrefação.

Parâmetro	290 °C	310 °C	345 °C	380 °C
<b>Constantes determinadas</b>				
B ( $\text{min}^{-1}$ )	0,0482	0,0539	0,0699	0,1016
S ( $^{\circ}\text{C min}^{-2}$ )	252,036	575,308	623,710	1750,120
	5	1	3	1
K ( $\text{min}^{-1}$ )	3,3079	6,5047	7,2128	18,6636
<b>Ajuste estatístico</b>				
R	0,9957	0,9964	0,9974	0,9903
R <sup>2</sup>	0,9914	0,9927	0,9949	0,9807
Adj. Rsqr	0,9912	0,9926	0,9947	0,9801
SE	3,1360	3,0741	2,5564	5,5053
<b>Erro padrão de estimação</b>				
B ( $\text{min}^{-1}$ )	0,0006	0,0006	0,0007	0,0022
S ( $^{\circ}\text{C min}^{-2}$ )	29,6947	33,7477	98,0729	372,8785
K ( $\text{min}^{-1}$ )	0,3990	0,4054	1,1488	4,0838

O grau de ajuste do modelo pelo desvio padrão da estimativa (SE) foi ao máximo 5,5% o que demonstra que o ajuste foi adequado nas quatro temperaturas avaliadas. Na Figura 4, cada linha representa uma posição do regulador do queimador de gás, cuja queima se manteve constante. Nessa condição os grãos mantiveram a mesma taxa de aquecimento durante o processo, portanto não se observou mudança térmica na superfície dos grãos devido ao início das reações exotérmicas no interior dos cafés.

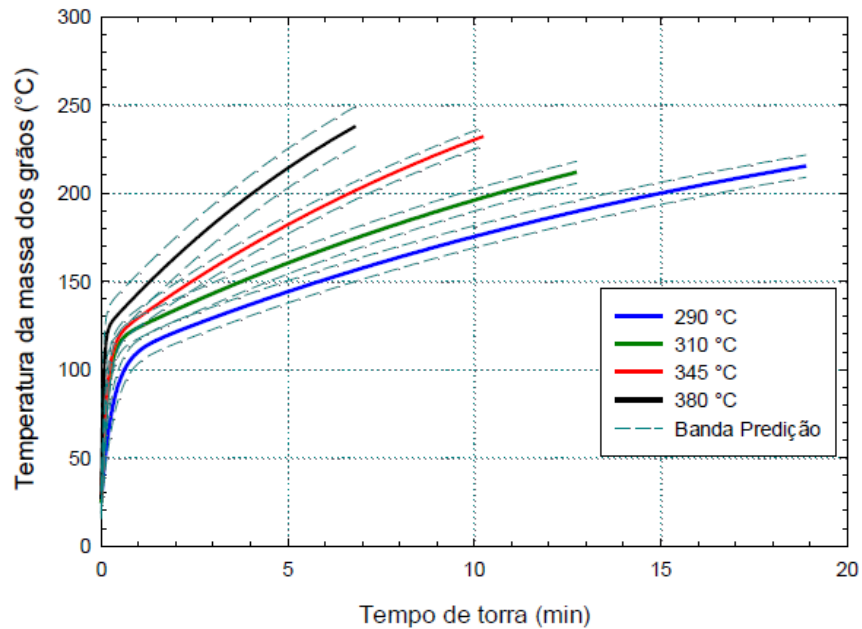


Figura 4 - Modelo de aquecimento dos grãos de café durante o processo de torrefação e as bandas de predição para 95 %, em quatro temperaturas do torrador.

Em torradores industriais fechados é difícil medir a temperatura da parede durante a torrefação, portanto o modelo facilita a análise do processo porque precisa somente da condição inicial tanto do torrador ( $T_i$ ) quanto dos grãos ( $T_0$ ), ditos valores são de previamente conhecidos.

A cinética do aquecimento dos grãos no torrador rotativo horizontal é diferente do torrador tipo leito fluidizado onde a torra é realizada em condições isotérmicas do ar em transferência de calor por convecção (SCHENKER, 2000; HERNÁNDEZ et al., 2007; FABBRI et al., 2011; BOTAZZI et al., 2012; ALONSO-TORRES et al., 2013; WANG; LIM, 2013).

## CONCLUSÕES

O aquecimento dos grãos foi contínuo durante o processo, observando-se uma tendência linear no final da torra. Foi adaptado o modelo matemático de aquecimento dos grãos que

ajustou adequadamente aos dados experimentais, considerando que calor do torrador é usado tanto para aquecimento da massa quanto para evaporação da água na superfície dos grãos.

## REFERÊNCIAS

ALONSO-TORRES, B.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, J.A.; SIERRA-ESPINOZA, F.; SCHENKER, S.; YERETZIAN, C. Modeling and validation of heat and mass transfer in individual coffee beans during coffee roasting process using Computational Fluids Dynamics (CFD). *CHIMIA*, v. 67, n. 4, p. 291-294, 2013.

BASILE, M.; KIKIC, I. A lumped specific heat capacity approach for predicting the non-stationary thermal profile of coffee during roasting. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, v. 3, n. 2, p. 167-177, 2009.

BONNLÄNDER, B.; EGGERS, R.; ENGELHARDT, U.H.; MAIER, H.G. Roasting. In: ILLY, A.; VIANI, R. (Eds.). 2005. Espresso coffee: the science of quality. 2.ed. London: Elsevier A.P.

BOTELHO, F.M. Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização do processo de torrefação dos grãos de *Coffea canephora*. 2012. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BOTTAZZI, D.; FARINA, S.; MILANI, M.; MONTORSI, L. A numerical approach for the analysis of coffee roasting process. *Journal of Food Engineering*, v. 112, p. 243-252, 2012.

FABBRI, A.; CEVOLI, C.; ALESSANDRINI, L.; ROMANI, S. Numerical modeling of heat and mass transfer during roasting process. *Journal of Food Engineering*, v. 105, p. 264-269, 2011.

FRANÇA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.; OLIVEIRA, R.C.S.; AGRETI, P.C.M.; AUGUSTI, R. A

preliminary evaluation of the effect of processing temperature of coffee roasting degree assessment. *Journal of Food Engineering*, v. 92, p. 345-352, 2009.

HERNÁNDEZ, J.A.; HEYD, B.; IRLES, C.; VALDOVINOS, B.; TRYSTRAM, G. Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. *Journal of Food Engineering*, v. 78, p. 1141-1148, 2007.

ILLY, A.; VIANI, R. Espresso coffee: the science of quality. 2.ed. London: Academic Press Limited, 2005. 398 p.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC. Sobre o café: Torrefação e preparação. Disponível em: <[http://www.ico.org/es/making\\_coffee.asp?section=Acerca\\_del\\_caf%E9](http://www.ico.org/es/making_coffee.asp?section=Acerca_del_caf%E9)>. Acesso em: 30 set. 2014.

PABIS, S.; JAYAS, D.; CENKOWSKI, S. Grain drying: theory and practice. Toronto, Canada: John Wiley & Sons, 1998. 303 p.

PERRONE, D.; DONANGELO, R.; DONANGELO, C.M.; FARAH, A. Modeling weight loss and chlorogenic acids content in coffee during roasting. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, p. 12238-12243, 2010.

PUTRANTO, A.; CHEN, X.D. Roasting of barley and coffee modeled using the lumped-reaction engineering approach (L-REA). Drying Technology, v. 30, p. 475-483, 2012.

REZENDE, A.M.; ROSADO, P.L.; GOMES, M.F.M. Café para todos: a informação na construção de um comércio de mais justo. Belo Horizonte: SEGRAC, 2007. 148 p.

RUOSI, M.R.; CORDERO, C.; CAGLIERO, C.; RUBIOLO, P.; BICCHI, C.; SGORBINI, B.;

LIBERTO, E. A further tool to monitor the coffee roasting process: Aroma composition and chemical indices. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 60, p. 11283-11291, 2012.

SCHENKER, S. Investigations on the hot air roasting of coffee beans. 2000. Tese (Doutorado) - Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, Zurique, Suíça.

SCHWARTZBERG, H. 2002. Modelling bean heating during batch roasting of coffee beans. In: Welti-Chanes, Barbosa-Canovas & Aguilera (Eds.). Engineering and food for the 21st century. London, New York, Boca Raton: CRC Press LLC.

Vargas-Elías, G. 2014. Cinética do aquecimento, da expansão volumétrica e da perda de massa em grãos de café durante a torrefação. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. p.68

Wang, X.; Lim, L.T. 2013. A kinetics and modeling study of coffee roasting under isothermal conditions. Food Bioprocess Technology, DOI 10.1007/s11947-013-1159-8, 2013 Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-013-1159-8>>. Acesso em: 25 no

## NUEVO MODELO MATEMÁTICO DE CALENTAMIENTO DE LOS GRANOS DE CAFÉ DURANTE EL TOSTADO

ROYNER ABARCA MORA<sup>1</sup>; GUILLERMO A. VARGAS-ELÍAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ing. Agrícola, UCR, San José, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, (506) 8868-4438,  
[royam90@gmail.com](mailto:royam90@gmail.com)

<sup>2</sup>Ing. Agrícola. D. Sc. Profesor, CIGRAS-UCR, San José, Costa Rica. (506+) 2511-8820.  
[gvargase@gmail.com](mailto:gvargase@gmail.com)

### RESUMEN

El tostado del café es analizado principalmente con modelos basados en transferencia de calor y masa, cuyas soluciones son complejas. Una solución práctica se deriva del calentamiento continuo de los granos; que puede analizarse como la derivada de la temperatura con respecto al tiempo. El objetivo del presente trabajo fue determinar un modelo matemático de calentamiento de los granos de café durante el proceso de torrefacción. Fueron utilizados granos de café *C. arabica*, en masas de 400, 600, 800 y 1000 g y contenido de humedad de 8,73 %b.h. Se utilizó un tostador convencional con quema a gas directo y una temperatura interna de 280 °C. La temperatura de los granos se registró mediante un termómetro infrarrojo sobre la superficie de la masa de los granos. El modelo matemático se definió a partir de la razón de calentamiento de los granos, la cual derivó en una ecuación no lineal con ajuste decreciente exponencial simple con tres parámetros. Las constantes del modelo fueron obtenidas por regresión no lineal para cada masa ( $R^2 > 88\%$ ). Al integrar la ecuación de la razón de calentamiento con los valores iniciales de tiempo y temperatura de los granos, se obtuvo la ecuación que describe el calentamiento de los granos en función del tiempo con coeficiente de determinación mayor que 98,7%. El modelo desarrollado es muy práctico porque además de ajustar adecuadamente la temperatura final de los granos también es sensible a la cantidad de masa colocada en el tostador.

**PALABRAS CLAVES:** *Coffea arabica*; calentamiento; torrefacción; tostador convencional, cinética del calentamiento.



## NEW MODEL OF GRAIN COFFEE TEMPERATURE DURING ROASTING

### ABSTRACT

Coffee roasting is mainly analyzed with models based on heat and mass transfer, whose solutions are complex. A practical solution is derived from the continuous heating of the grains; which can be analyzed as the derivative of temperature related to time. The objective of the present work was to determine a mathematical model of heating of coffee beans during the roasting process. *C. arabica* coffee beans were used, in masses of 400, 600, 800 and 1000 g and moisture content of 0.0873 kg kg<sup>-1</sup>. A conventional roaster with direct gas burning and an internal temperature of 280 °C was used. The temperature of the surface grains was recorded by an infrared thermometer. The mathematical model was defined based on the heating rate of the grains, which resulted in a non-linear equation with a simple exponential decay adjustment with three parameters. The coefficients of the model were obtained by non-linear regression for each mass ( $R^2 > 88\%$ ). By integrating the equation of the heating ratio with the initial values of time and temperature of the grains, the equation described the heating of the grains as a function of time with coefficient of determination greater than 98.7%. The model developed is very practical because in addition to properly adjusting the final temperature of the beans is also sensitive to the amount of mass grains placed in the roaster.

**KEYWORDS:** *Coffea arabica*; grain heating, roasting; drum roaster, kinetics of temperature.

### INTRODUCCIÓN

Las soluciones exactas para el aumento de la temperatura de los granos durante el tostado del café es realizado principalmente con modelos basados en transferencia de calor y masa (Schwartzberg, 2002; Hernández et al., 2007; Bottazzi et al., 2012), las soluciones son complejas para lo cual es necesario sistemas isotérmicos para la transferencia de calor y generar condiciones isotrópicas del sólido, como la uniformidad de temperatura dentro del grano, contenido de humedad y conservación de volumen (Pabis, Jayas y Cenkowski, 1998).



El tostado de café presenta primero cambios físicos como el secado a alta temperatura que libera vapor y mientras supera la temperatura de 180 °C, ocurren reacciones químicas propias de la pirolisis, donde se libera principalmente el CO<sub>2</sub> (Clarke & Macrae; 1987). Para Vargas-Elías (2014), el vapor produce un aumento del volumen en 20 %, mientras que el dióxido de carbono produce un aumento del 60%, por lo tanto, esta expansión volumétrica del 80% aumenta la complejidad del modelaje de la transferencia de calor y masa en el tueste de los granos.

Considerando que el tostador convencional opera en condiciones no isotérmicas y el calentamiento de los granos durante la torrefacción es continuo, se determinó que al inicio del proceso la temperatura de los granos es exponencialmente creciente y después de 2min se mantiene a una tasa linealmente creciente, según Vargas-Elías (2014). Las dos etapas de calentamiento, una exponencial y otra lineal fueron también observadas tanto en café arábica (Vargas-Elías, 2011) como en café robusta (Botelho, 2012).

Una solución práctica es obtener con precisión los datos de temperatura y realizar un ajuste estadístico con respecto a un modelo matemático. Considerando las dos tasas de calentamiento en los granos, el objetivo del presente trabajo fue establecer un modelo matemático basado en la derivada de la temperatura con respecto al tiempo para el proceso de torrefacción del café.

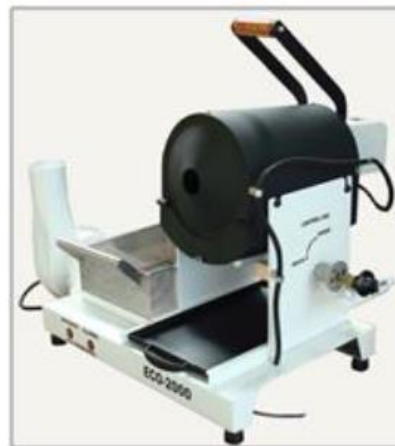
## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Centro de Investigaciones de Granos y Semillas (CIGRAS), en la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica.

Se utilizó granos de café provenientes del proceso de beneficiado húmedo (*full washing*) con calidad SHB (*Strictly Hard Bean*), de la cosecha 2015-2016, con tamaño de 100% sobre zaranda o criba #15, *Coffea arabica L.* con mezcla de variedades *Caturra* y *Catuai*. El contenido de humedad inicial en base húmeda del café es de  $8,73 \pm 0,08$  % b.h. y con densidad aparente de  $711,93 \pm 1,80$  kg/m<sup>3</sup>.

Se utilizaron cuatro masas de 400, 600, 800 y 1000g. Las muestras se colocaron en bolsas plásticas de polietileno y se almacenaron en cámara fría a  $10,0 \pm 0,1$  °C. Previo al proceso de la torrefacción, las muestras deben ser retiradas de la cámara por aproximadamente 12 horas hasta equilibrarse térmicamente con el ambiente.

El proceso de torrefacción del café, se realizó en un tostador convencional marca BENDIG y modelo ECO-2000 (Fig.1). El tostador tiene un cilindro rotativo perforador a velocidad constante (60 RPM), calentamiento con quema de gas propano y una capacidad de 2,0 kg de café crudo, según las especificaciones del fabricante. El consumo de gas se mantiene constante mediante un regulador de presión, para garantizar un flujo estable durante todo el proceso. El tostador cuenta con un sistema de enfriamiento con aire a succión y velocidad constante.

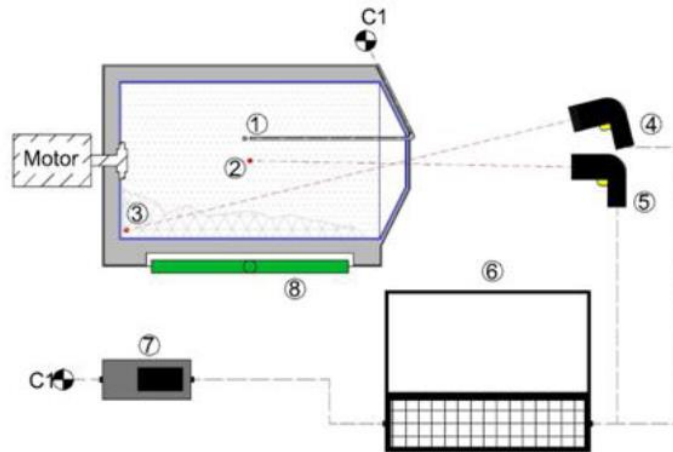


**Figura 1.** Tostador convencional, marca BENDIG / modelo ECO-2000 (Bendig, 2016)

La torrefacción se realizó con cuatro temperaturas iniciales del tostador de 260, 280, 300 y 320°C, las cuales son registradas mediante un termopar tipo K, colocado en la cámara interna del tostador.

La temperatura de la masa de granos y el cilindro rotativo, se utilizó un termómetro infrarrojo portátil, marca General®, que proporciona lecturas desde -32 hasta 1650 °C, con un tiempo

de respuesta de 0,5 s, una precisión de 0,1 °C. Las temperaturas registradas corresponden a la pared interna del cilindro y a la masa de granos en el proceso de tostado, según Figura 2.



**Figura 2.** Sistema de adquisición de datos de temperatura para el tostador convencional.

1. Sensor termopar tipo K. 2. Punto de medición en pared de cilindro. 3. Punto medición en masa de granos. 4. Sensor infrarrojo en masa de granos. 5. Sensor infrarrojo en pared del cilindro. 6. Computadora. 7. Sistema de escáner de temperatura. 8. Quemador de gas.

La alta temperatura del tostador garantiza el calentamiento continuo de los granos, el registro de la temperatura y el intervalo de tiempo se relaciona como en la ecuación (1),

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{n+1} - T_n}{t_{n+1} - t_n} = T' \quad (1)$$

Donde,  $dT/dt$  es la razón de calentamiento (°C/s);  $T_{n+1}$  es la temperatura de la masa de granos en el tiempo  $n+1$  (°C);  $T_n$  es la temperatura de la masa de granos en el tiempo  $n$  (°C)

Las dos etapas de calentamiento en el tueste de los granos se representan como una parte exponencial y otra a tasa constante como en la ecuación (2).

$$\frac{dT}{dt} = y_0 + a \cdot e^{(-b \cdot t)} \quad (2)$$

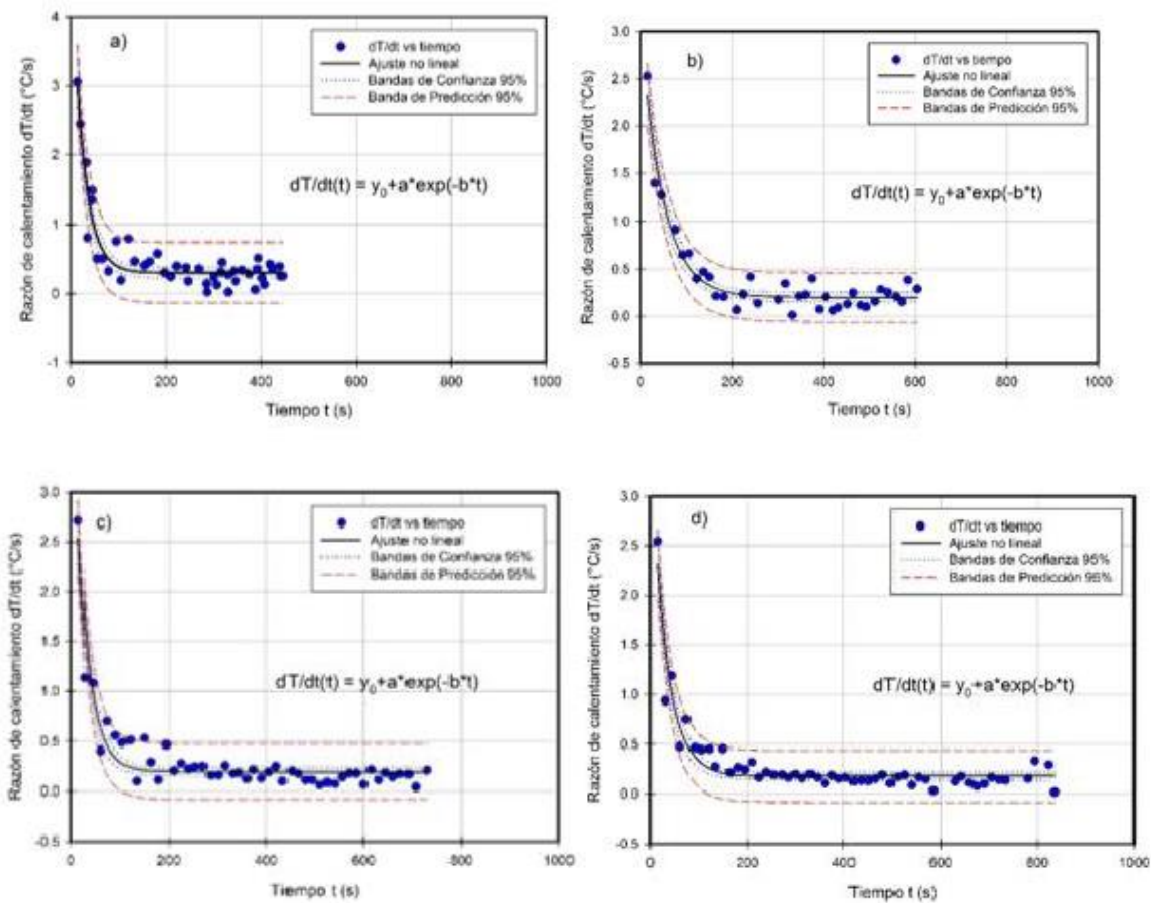
Integrando la ecuación 2, se obtiene una solución exacta como la ecuación 3, utilizando los parámetros iniciales para  $t_0=0$  y  $T(t_0)=T_0$ .

$$T = T_0 + y_0 \cdot t + \frac{a}{b} \cdot [1 - e^{(-b \cdot t)}] \quad (3)$$

Se utilizó el programa Sigmaplot 13.0 para la determinación de los coeficientes de las ecuaciones por regresión no lineal. El grado de ajuste se analizó a partir del coeficiente de determinación.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar el cálculo de la razón de calentamiento en los granos, se procedió a calcular las diferencias de temperatura cada 15s. En la Figura 3, se muestra que efectivamente el ajuste decreciente exponencial simple de tres parámetros puede representar adecuadamente la rapidez del calentamiento entre las bandas de predicción indicadas.



**Figura 3.** Razón de calentamiento de los granos para masas de 400(a), 600, 800 y 1000 g(d).

El ingreso de los granos a temperatura ambiente aproximadamente a 25°C dentro de la cámara del tostador a 280°C, provocó un incremento significativo de la temperatura en los primeros 120s, tal como fue observado por Vargas-Elías (2014) en masas de 350g.

El final del proceso la tasa de calentamiento se mantiene constante. El efecto de la masa sobre la razón de calentamiento aumentó el tiempo de tostado y disminuyó el ancho de la banda de predicción para el rango de masa de 600 a 1000g.

En el Cuadro 1, se muestran los parámetros respectivos a los ajustes realizados para cada masa evaluada, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para todas las masas fue mayor a 88%, los parámetros del modelo  $y_0$ ,  $a$  y  $b$  fueron determinados con un *valor-p* menor que 0,0001.

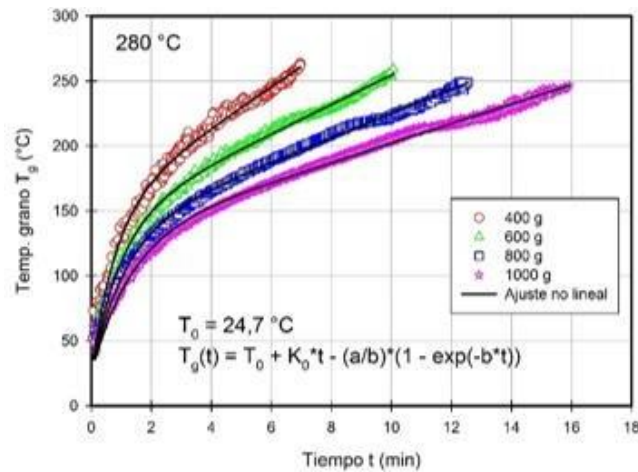
**Cuadro 1.** Parámetros estadísticos de las regresiones de cinética de calentamiento.

<i>Masa</i>		<i>400 g</i>	<i>600 g</i>	<i>800 g</i>	<i>1000 g</i>
Coeficientes del modelo	$y_0$ ( $^{\circ}C/s$ )	0,3065	0,2011	0,1974	0,1797
	$a$ ( $^{\circ}C/s$ )	4,7980	2,9076	4,1014	3,2708
	$b$ ( $s^{-1}$ )	0,0404	0,0209	0,0374	0,0307
Valores estadísticos del ajuste	$R$	0,9402	0,9673	0,9481	0,9458
	$R^2$	0,8840	0,9357	0,8989	0,8944
	$Adj.R^2$	0,8783	0,9318	0,8944	0,8900
	$SE$	0,2137	0,1252	0,1370	0,1283
Prueba- $t$	$y_0$	8,3231	7,9954	9,1926	9,1056
	$A$	8,7104	14,3228	10,2507	11,6258
	$B$	8,5543	10,2450	9,4683	9,7888

El coeficiente  $y_0$  representa la condición de tasa constante de calentamiento al final del proceso, el cual disminuye proporcionalmente con respecto al aumento de masa. Es decir, cuando se aumenta la masa en el tostador el cambio de la temperatura de los granos es más lento; por lo tanto dura más el proceso.

La desviación estándar del ajuste estimado del modelo (SE) fue menor al 0,14%, lo que demuestra que el modelo fue adecuado para representar tanto la rapidez como el efecto de la masa sobre la tasa de calentamiento.

En la Figura 4, se muestra el calentamiento continuo de la masa de granos observado y la línea continua representa el valor según el modelo matemático propuesto. La condición inicial de temperatura ( $T_0$ ) en la masa de granos verdes fue  $24,7^{\circ}C$ . Se observa que para la menor masa el proceso fue más rápido y que la tasa de calentamiento disminuye con el aumento de la masa. El modelo matemático efectivamente logra adaptarse al efecto de la masa en el tiempo y en el calentamiento.



**Figura 4.** Cinética de la temperatura de los granos de café tostado a 280 °C.

En el Cuadro 2, se observan los parámetros del ajuste del modelo para cada masa, además, el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) para todas las masas fue mayor a 98%, los parámetros del modelo  $y_0$ ,  $a$  y  $b$  fueron determinados con un *valor-p* menor que 0,0001. Los coeficientes presentaron una relación proporcionalmente decreciente con el aumento de la masa de granos.

**Cuadro 2.** Parámetros estadísticos de las regresiones de cinética de calentamiento.

<i>Masa</i>		400 g	600 g	800 g	1000 g
Coeficiente s del modelo	$y_0$ (°C/s)	15,7492	11,3073	9,3319	7,4484
	$a$ (°C/s)	- 153,6766	- 119,2672	-96,9938	-80,0694
	$b$ ( $s^{-1}$ )	1,2170	1,0210	0,9068	0,7761
Valores estadísticos del ajuste	$R$	0,9938	0,9973	0,9976	0,9982
	$R^2$	0,9876	0,9947	0,9953	0,9963
	$Adj.R^2$	0,9876	0,9947	0,9953	0,9963
	$SE$	5,2232	3,2930	3,2303	2,7967
Prueba- <i>t</i>	$y_0$	54,8872	111,1684	158,5880	182,2626
	$A$	-54,9997	-93,0161	- 113,5085	-115,0170
	$B$	36,9979	65,8154	82,7386	86,7013

La desviación estándar del ajuste estimado del modelo (SE) fue menor al 5,5%, lo que demuestra que representa adecuadamente el calentamientos de los granos en las masas estudiadas.

El modelo de temperatura propuesto, presentó un ajuste general ( $R^2$ ) superior a 98,7%. El final del proceso es relevante porque se determina el tipo de tueste en los granos en función de su temperatura, se observa que el modelo propuesto efectivamente representa los valores observados en la etapa final, lo cual fue observado en otros tostadores (Schwartzberg, 2002).

## CONCLUSIONES

El modelo se ajustó adecuadamente para los datos de calentamiento de la masa de granos de café durante la torrefacción y efectivamente aproxima la temperatura final de los granos.

La masa colocada en el interior del tostador afectó significativamente la velocidad de calentamiento de la masa de granos, esta velocidad se compone de dos etapas, la primera, en la que sucede un calentamiento brusco y la segunda, después de un punto de inflexión con tasa constante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca Mora, R. (2017). Estudio del proceso de torrefacción del café en tostador convencional (Tesis de Licenciatura). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 106p.

Bendig. (15 de noviembre de 2016). Torrefacción-Tostadores. Obtenido de Bendig Maquinaria S.A.: [www.bendig.co.cr](http://www.bendig.co.cr)

Clarke, R. J., & Macrae, R. (1987). Coffee, Volumen 2, Technology. Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD.

Bottazzi et al. (2012). A numerical approach for the analysis of the coffee roasting process. Journal of Food Engineering 112, 243-252.



Botelho, F.M. (2012). Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização do processo de torrefação dos grãos de Coffea canephora. Tesis de Doctorado. Universidade Federal de Viçosa; Minas Gerais, Brasil.

Hernández et al, J. A. (2007). Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting.

Journal of Food Engineering 78, 1141–1148.

Pabis, S., Jayas, D., Cenkowski, S. (1998). Grain Drying, Theory and Practice. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Schwartzberg, H. G. (2002). Modeling Bean Heating during Batch Roasting of Coffee Beans. In Engineering and Food for the 21st Century, 1036.

Vargas-Elías, G. A. (2011). Avaliação das propriedades físicas e qualidade do café em diferentes condições de torrefação. Tesis de maestría. Viçosa, Minas Gerais, Brasil: UFRV. 114p.

Vargas-Elías, G. A. (2014). Cinética do aquecimento, expansão volumétrica e perda de massa em grãos de café durante a torrefação. Tesis de doctorado. UFV; Minas Gerais, Brasil. 68p.

## **CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN POSOS DE CAFÉ MEXICANO PROCEDENTE DE CULTIVO ORGÁNICO Y CONVENCIONAL**

César Ozuna\*, Berenice Valdez-Rodríguez, Ma. del Rosario Abraham-Juárez  
Departamento de Alimentos. División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato Salamanca,  
Universidad de Guanajuato. Carretera Irapuato Silao km 9, 36500. Irapuato, Guanajuato  
México. \*e-mail: cesar.ozuna@ugto.mx, tel. (+52 462) 624 18 89 Ext. 5234

### **RESUMEN**

Tanto el café de Chiapas como el de Veracruz pertenecen a los catorce productos mexicanos cuya calidad es reconocida por la distinción "Denominación de Origen Protegida". La infusión de café es una fuente de antioxidantes naturales. Sin embargo, los posos generados en el proceso de elaboración de la infusión también pueden contener niveles importantes de compuestos bioactivos. A diferencia de los métodos de cultivo convencionales, la producción de alimentos orgánicos puede contribuir a mejorar su calidad, a la vez que protege el medio ambiente. Las muestras de café molido, variedad Arábica, analizadas en este trabajo fueron recolectadas en dos localidades mexicanas (Ixhuatlán del Café, Veracruz y Tapachula, Chiapas), las cuales procedieron de cultivos orgánicos y convencionales. El objetivo de esta investigación fue estudiar los efectos del método de cultivo y el lugar de origen en el contenido de fenoles y flavonoides totales, así como la capacidad antioxidante de los posos de café. Con los resultados obtenidos se realizó un ANOVA bidireccional y una prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Independientemente del lugar de origen, los posos procedentes del cultivo orgánico mostraron valores significativamente ( $p < 0.05$ ) mayores en la cantidad de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en comparación con las muestras procedentes del cultivo convencional. De forma similar, los posos procedentes de Veracruz obtuvieron resultados significativamente ( $p < 0.05$ ) mayores que las muestras de Chiapas. Estos resultados sugieren que el procesamiento de los subproductos del café mexicano podrían ser una fuente interesante de compuestos bioactivos, especialmente cuando el café proviene de la agricultura orgánica.

**Palabras clave:** Subproductos de café, Fenoles totales, Flavonoides totales, DPPH, ABTS.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, México cuenta con catorce productos cuya calidad es reconocida por la distinción "Denominación de Origen", los cuales se encuentran protegidos por la Ley de Propiedad Industrial Mexicana. Dentro de estos productos destacan el Tequila, la vainilla de Papantla, el chile habanero de la península de Yucatán y los cafés de los estados de Chiapas y de Veracruz (IMPI, 2016).

El café es una de las bebidas más populares a nivel mundial y su consumo ha ido en incremento constante, lo que ha representado una importancia comercial en los últimos 150 años (Freedman et al., 2012). El proceso de la elaboración de la bebida del café genera cerca de 6 millones de toneladas anuales de posos de café a nivel mundial (Mussatto et al., 2011). Este subproducto es considerado un problema de contaminación al medio ambiente debido a su baja biodegradación, lo cual es atribuido a sus altos contenido de cafeína, taninos y polifenoles (Murthy & Naidu, 2012). Sin embargo, la riqueza de compuestos bioactivos que poseen los posos de café representa una fuente importante para diversas aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica (Mussatto et al., 2011).

En las últimas décadas, México ha logrado posicionarse como uno de los cinco mayores productores de café a nivel internacional, siendo líder mundial en la producción de café orgánico y uno de los primeros productores en cafés "Gourmet" (Toledo & Barrera-Bassols, 2017; Wong Paz et al., 2013). Actualmente, la agricultura orgánica está integrada en el sistema agroalimentario de más de 162 países, en los cuales alrededor de 37,2 millones de hectáreas están siendo cultivadas bajo este sistema (Schwentenius Rindermann et al., 2014). A diferencia de los métodos de cultivo convencionales, la producción de alimentos orgánicos puede contribuir a mejorar su calidad, a la vez que protege el medio ambiente (Kazimierczak et al., 2015).

El objetivo general de este trabajo fue evaluar el efecto del tipo de cultivo (orgánico y convencional) y el lugar de origen (Chiapas y Veracruz) sobre el contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en posos de café mexicano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Obtención de materia prima y preparación de posos de café.** Las muestras de café molido, variedad arábica, analizadas en esta investigación fueron recolectadas en dos localidades mexicanas (Ixhuatlán del Café, Veracruz y Tapachula, Chiapas). En ambos casos, el café fue cultivado a una altura aproximada de 1200 metros sobre el nivel del mar. Los posos de café se obtuvieron preparando una infusión de café empleando matraces Erlenmeyer de 250 mL y embudos con papel filtro. Se emplearon 10 g de café molido, los cuales fueron colocados en un filtro de papel y posteriormente se adicionó 170 mL de agua purificada en ebullición. La obtención de posos para cada una de las condiciones estudiadas se realizó por triplicado.

**Determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.** La determinación de fenoles totales se realizó a través de la metodología propuesta por Slinkard, & Singleton (1977). Los valores de absorbancia fueron leídos a 765 nm y el contenido de compuestos fenólicos totales de las muestras se reportó en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco (mg EAG/g PS). La determinación de flavonoides totales se llevó a cabo siguiendo el método de Khanam et al. (2012), leyendo los valores de absorbancia a una longitud de onda de 415 nm. Los resultados se reportaron como miligramos de equivalentes de quercetina por gramo de peso seco (mg EQ/g PS).

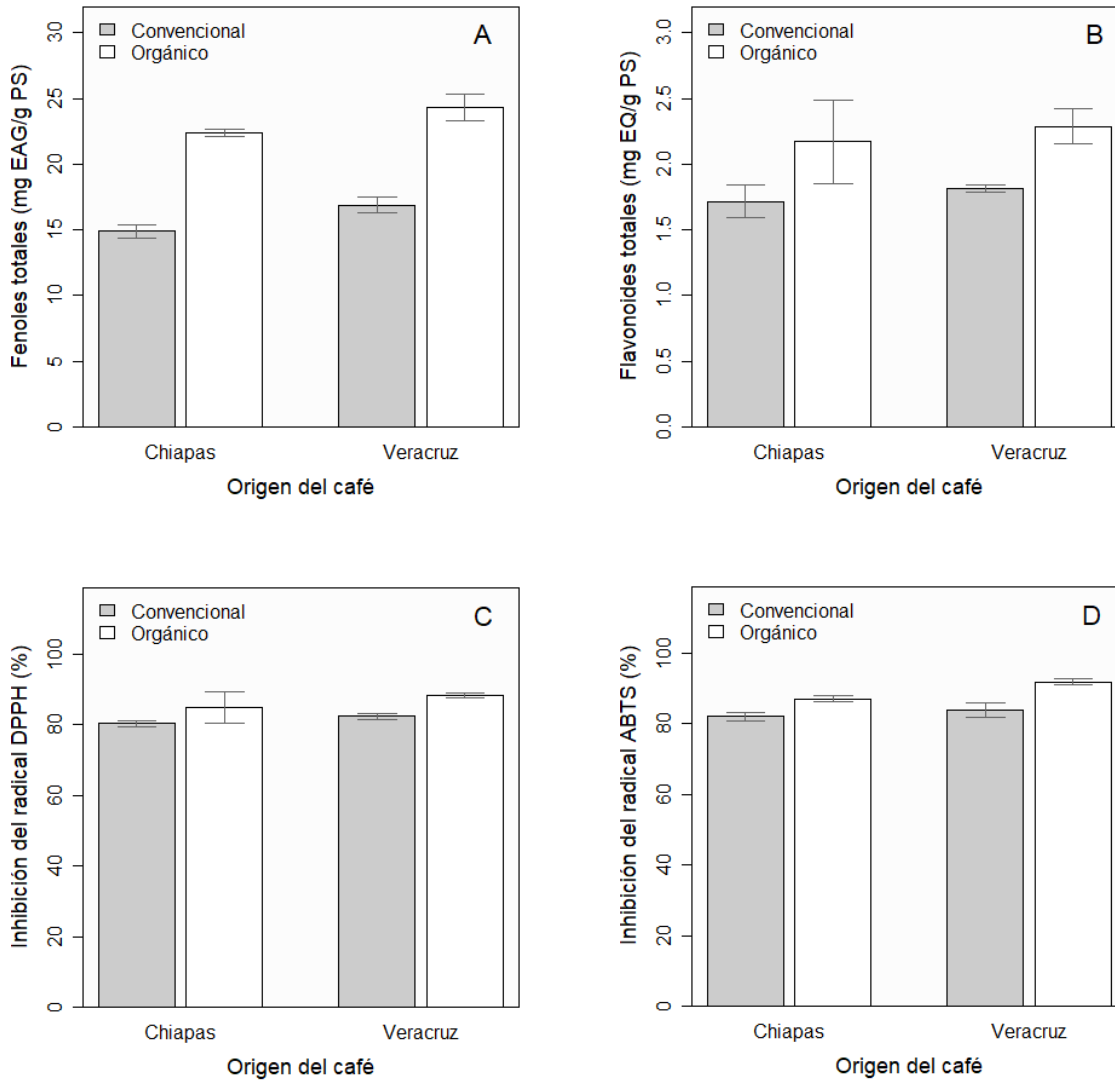
Para la determinación de la capacidad antioxidante se siguió el método propuesto por Brand-Williams et al. (1995) con ligeras modificaciones. Se preparó el reactivo DPPH metanólico a una concentración de 75  $\mu$ M. Las muestras se mantuvieron en oscuridad por 30 min y la lectura se llevó a cabo a 517 nm. Los resultados se expresaron como porcentaje de neutralización del radical DPPH (%). De la misma manera se preparó el reactivo ABTS mediante la metodología propuesta por Re et al. (1999), haciendo reaccionar el radical ABTS con persulfato de potasio, leyendo las absorbancias a 732 nm. La determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante para las muestras analizadas se realizó por quintuplicado.

**Análisis de datos.** Los datos recolectados para cada una de las cuatro variables de respuesta (fenoles y flavonoides totales, porcentaje de inhibición del radical DPPH y ABTS) se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, considerando para el análisis el factor de origen geográfico del café con dos niveles (*ORIGEN*: Veracruz, Chiapas) y el factor de tipo de cultivo con dos niveles (*CULTIVO*: orgánico, convencional). Para dos variables (fenoles y flavonoides totales) se aplicó la corrección de White ya que no cumplieron la suposición de homocedasticidad. Adicionalmente, debido a que no todos los grupos analizados mostraron una distribución normal, los resultados de los ANOVAs se confirmaron por medio de comparación por pares mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el efecto del tipo de cultivo y el origen geográfico del café sobre la concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en posos de café

mexicano.



**Figura 1.** Concentración de compuestos fenólicos totales (A), flavonoides totales (B) y capacidad antioxidante: DPPH (C) y ABTS (D) en posos de café mexicano.

Con los datos obtenidos para cada una de las variables de respuesta (fenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante: DPPH y ABTS) se realizó un análisis de

varianza (ANOVA) de dos factores: *CULTIVO* y *ORIGEN*. Los resultados de este análisis se encuentran en la Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Resultados del análisis de varianza (ANOVA) factorial para posos de café mexicano.

	Tipo de cultivo			Origen del café			Cultivo * Origen		
	<i>F</i>	<i>Gl</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
Fenoles	705.544	1, 58	<0.001***	25.546	1, 58	<0.001***	0.021	1, 56	0.886
Flavonoides	7.637	1, 58	<0.01**	2.528	1, 58	0.117	0.015	1, 56	0.903
DPPH	8.782	1, 58	<0.01**	1.773	1, 58	0.188	0.460	1, 56	0.500
ABTS	34.288	1, 58	<0.001***	4.384	1, 58	<0.05*	5.914	1, 56	<0.05*

La Figura 1.A. muestra el efecto de las dos variables estudiadas sobre la concentración final de compuestos fenólicos totales en posos de café, expresado en mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de peso seco (PS). En el caso de los posos obtenidos del café de Chiapas, la concentración de compuestos fenólicos totales de las muestras procedentes de cultivo orgánico fue de  $22.42 \pm 0.50$  mg EAG/g PS, mientras que para las de cultivo convencional el valor fue de  $14.91 \pm 0.94$  mg EAG/g PS. Por otro lado, las concentraciones obtenidas para posos de café de Veracruz fueron de  $24.32 \pm 1.79$  mg EAG/g PS y  $16.90 \pm 1.14$  mg EAG/g PS para cultivo orgánico y convencional, respectivamente. Los resultados del ANOVA mostraron que el factor *CULTIVO* tuvo un efecto en el contenido de compuestos fenólicos totales ( $F(1,58)=705.544$ ,  $p<0.001$ ). En promedio, las muestras de posos del café orgánico presentaron un contenido de fenoles totales de

23.37±1.62 mg EAG/g PS, mientras que las muestras del café convencional un contenido de 15.90±1.44 mg EAG/g PS. El factor *ORIGEN* también mostró un efecto en el contenido de compuestos fenólicos totales ( $F(1,58)=25.546$ ,  $p<0.001$ ) sin presentar una interacción con *CULTIVO* ( $F<1$ ). En promedio, las muestras de posos del café de Chiapas y Veracruz alcanzaron un contenido de fenoles totales de 18.66±3.89 mg EAG/g PS y 20.61±4.05 mg EAG/g PS, respectivamente.

La Figura 1.B. muestra el efecto del *CULTIVO* y *ORIGEN* sobre la concentración final de flavonoides totales, expresado en mg equivalentes de quercetina (EQ) por gramo de peso seco (PS). Para los posos obtenidos del café de Chiapas, la concentración de flavonoides totales de las muestras procedentes de cultivo orgánico fue de 2.17±0.57 mg EQ/g PS, mientras que para las de cultivo convencional el valor fue de 1.72±0.22 mg EQ/g PS. En el caso de los posos de café de Veracruz, las concentraciones obtenidas fueron de 2.29±0.24 mg EQ/g PS y 1.82±1.05 mg EQ/g PS para cultivo orgánico y convencional, respectivamente. Los resultados del ANOVA mostraron que el *CULTIVO* tuvo un efecto en el contenido de compuestos fenólicos totales ( $F(1,58)=7.637$ ,  $p<0.01$ ). En promedio, las muestras de posos del café orgánico presentaron un contenido de flavonoides totales de 2.23±0.43 mg EQ/g PS, mientras que las muestras del café convencional un contenido de 1.77±0.17 mg EQ/g PS. Sin embargo, el *ORIGEN* no mostró tener un efecto en el contenido de flavonoides totales ( $F(1,58)=2.528$ ,  $p=0.117$ ). En promedio, las muestras de posos del café de Chiapas y Veracruz alcanzaron un contenido de flavonoides totales de 2.05±0.30 mg EQ/g PS y 1.94±0.48 mg EQ/g PS, respectivamente. De igual forma que en el contenido de fenoles totales, no hubo interacción entre ambas variables ( $F<1$ ).

Finalmente, las Figuras 1, C y D muestran el efecto de las dos variables estudiadas sobre el porcentaje de inhibición del radical DPPH y ABTS, respectivamente. En ambas determinaciones de capacidad antioxidante se observa una tendencia similar que en la concentración de compuestos bioactivos, mostrando valores superiores en las muestras procedentes de cultivos orgánicos (Figuras 1, A y B). Los resultados del ANOVA mostraron, que el *CULTIVO* tuvo un efecto ( $F(1,58)=8.782$ ,  $p<0.01$ ;  $F(1,58)=34.288$ ,  $p<0.001$ ) para la inhibición del radical DPPH y ABTS, respectivamente. En el caso de la variable de respuesta



*ORIGEN*, el porcentaje de inhibición del radical ABTS presentó un efecto significativo ( $F(1,58)=4.384, p<0.05$ ). En promedio, las muestras de posos del café orgánico presentaron un porcentaje de inhibición del radical ABTS de  $89.48\pm 2.83\%$ , mientras que las muestras de café convencional un porcentaje de  $83.00\pm 3.03\%$ . Para este mismo radical, el efecto también se observó para la interacción con la variable *CULTIVO* ( $F(1,56)=5.914, p<0.05$ ). En promedio las muestras de posos del café de Chiapas y Veracruz alcanzaron un porcentaje de inhibición del radical ABTS de  $84.61\pm 3.18\%$  y  $87.87\pm 4.83\%$ , respectivamente. Por otro lado, el porcentaje de inhibición del radical DPPH no mostró un efecto para el *ORIGEN* ( $F(1,58)=1.733, p=0.188$ ) ni la interacción de ambas variables ( $F<1$ ).

**Cuadro 2.** Resultados de la prueba no paramétrica U de Mann Whitney para posos de café.

	Tipo de cultivo				Origen del café			
	Veracruz		Chiapas		Orgánico		Convencional	
	<i>W</i>	<i>P</i>	<i>W</i>	<i>p</i>	<i>W</i>	<i>p</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
Fenoles	22	<0.001**	22	<0.001**	19	<0.001**	222	<0.001**
	5	*	5	*	6	*		*
Flavonoide s	22	<0.001**	20	<0.001**	12	0.561	169	<0.05*
	5	*	6	*	7			
DPPH	22	<0.001**	21	<0.001**	17	<0.001**	195	<0.001**
	4	*	0	*	9	*		*
ABTS	20	<0.001**	21	<0.001**	21	<0.001**	166.	<0.05*
	8	*	2	*	7	*		

Finalmente, debido a que no todos los grupos analizados mostraron una distribución normal, los resultados de los ANOVAs se confirmaron por medio de comparación por pares mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney (Cuadro 2). Con los resultados obtenidos mediante esta prueba, se confirmó que las variables *ORIGEN* y *CULTIVO* influyen de manera

significativa en el contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en posos de café.

Hasta la fecha, no existe ninguna investigación que estudie el efecto del método de cultivo sobre el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de los subproductos de café mexicano. Sin embargo, investigaciones previas realizadas con otras plantas muestran un efecto positivo de la agricultura orgánica sobre la calidad del producto final. En este sentido, se ha observado un mayor contenido de compuestos bioactivos (polifenoles y flavonoides) en plantas medicinales orgánicas respecto a aquellas que han sido cultivadas empleando métodos convencionales (Kazimierzak et al., 2015). De igual forma, Brandt & Mølgaard (2001) sugieren que los alimentos cultivados a través de la agricultura orgánica pueden contener de 10 hasta 50% más metabolitos secundarios. Este hecho podría estar relacionado con la síntesis de estos biocompuestos que emplea la planta para defenderse de los efectos adversos del medio ambiente.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren un posible efecto benéfico de la agricultura orgánica en el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en subproductos de la industria del café mexicano, particularmente posos. Sin embargo, los extractos de compuestos bioactivos de café orgánico por producto necesitan ser cuidadosamente caracterizados y sus componentes identificados antes de que pueda llevarse a cabo cualquier implementación.

### REFERENCIAS

- Brandt, K., & Mølgaard, J. P. (2001). Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods?. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 924-931.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.

- Freedman, N. D., Park, Y., Abnet, C. C., Hollenbeck, A. R., & Sinha, R. (2012). Association of coffee drinking with total and cause-specific mortality. *The New England Journal of Medicine*, 2012(366), 1891-1904.
- Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). (2016). *Denominaciones de origen. Orgullo de México*. México, D.F: IMPI.
- Kazimierczak, R., Hallmann, E., & Rembiałkowska, E. (2015). Effects of organic and conventional production systems on the content of bioactive substances in four species of medicinal plants. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(2), 118-127.
- Khanam, U. K. S., Oba, S., Yanase, E., & Murakami, Y. (2012). Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4(4), 979-987.
- Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45-58.
- Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., and Teixeira, J. A. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83, 173-179.
- Paz, J. E. W., Guyot, S., Herrera, R. R., Sánchez, G. G., Esquivel, J. C. C., Castañeda, G. S., & Aguilar, C. N. (2013). Current alternatives for sustainable management of coffee industry by-products in Mexico. *Acta Química Mexicana*, 5(10), 33-40.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Schwentesius Rindermann, R., Gómez Cruz M. Á., Ortigoza Rufino, J., & Gómez Tovar, L. G. (2014). México orgánico. Situación y perspectivas. *Agroecología*, 9, 7-15.

Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49-55

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2017). Political Agroecology in Mexico: A Path toward Sustainability. *Sustainability*, 9(2), 268.

## RESÚMENES EXTENDIDOS PUBLICADOS EN TECNOLOGÍA EN MARCHA:

1. Producción de biodiesel a partir de semillas de (*Argemone pleiacantha* Greene). *Ricardo Trejo Calzada, Elena Del Carmen Villarreal-Ornelas, Ignacio Sánchez Cohen, Miguel Agustín Velasquez-Valle, Mali Nay Buendia-Tamariz*
2. Geoportal de suelos de Costa Rica como Bien Público al servicio del país. *Rafael Mata Chinchilla, Jonathan Castro Chinchilla*
3. Redes Neurais Artificiais Para Predição da Massa Corporal de Frangos. *Patricia Ferreira Ponciano Ferraz, Tadayuki Yanagi Junior, Yamid Hernández Julio (Colombia), Gabriel Araújo e Silva Ferraz, Daiane Cecchin*
4. Uso de la Tierra y Crecimiento de la Población en la Microcuenca de los Ríos Coatepec y el Manzano, Estado de México. *Genaro Aguilar Sánchez, Miriam Julián-Santiago*
5. Análise da comportamento espectral da água do Rio Doce -MG, Brasil, mediante ao rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO. *Laura Thebit De Almeida, Felipe Bernardes Silva, Micael De Souza Fraga, Rayssa Balieiro Ribeiro, Maria Camila Alves Ramos, Roberto Avelino Cecílio*
6. Desenvolvimento radicular e folhar do milho (*Zea mays*) sob diferentes tipos de subsolagem. *Paulo Henrique Conte, David Peres Da Rosa, Alisson Alves, Artur Zancan, Júnior Verardi*
7. Distribuição longitudinal de fertilizante granulado em diferentes inclinações e posição da rosca de um dosador de rosca helicoidal dupla. *Júnior Verardi, David*

*Peres da Rosa Artur Zancan, Paulo Henrique Conte, Marcos Longaretti, Roger Toscan Spagnolo*

8. Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *María Cristina Porras Zúñiga, Guillermo A. Vargas-Elías, Linda Araúz Madrid, Yailyn Natalia Abarca Alpízar*
9. Cinética de secagem de folhas de fumo e suas propriedades termodinámicas. *Gabriel Henrique Horta De Oliveira, Paulo César Corrêa, Ana Paula Lelis Rodrigues De Oliveira, Fernando Mendes Botelho, Sílvia De Carvalho Campos Botelho*
10. Desarrollo de una herramienta espatadora de cebolla bulbo. *Claudia Patricia Pérez Rodriguez, Fanny Angélica Torres Aya, José Eduardo Naranjo Castillo, Alejandro Esteban Jaimes Quiñones, Ricardo Andrés Anzola Rodriguez*
11. Spray nozzles performance on wheat diseases control. *Matilde Mur, Santiago Gadea, Mariano Julio Ponce, Victor Hugo Merani, Facundo Guilino, Roberto Balbuena, Juan Manuel Vazquez, Telmo Palancar*
12. Instrumentación de un generador de energia electrica. *Sergio Alexis Valdovinos Valdovinos, Ovaldo Galicia Sánchez, Luis Antonio Castro López, Bonifacio Gaona Ponce, Raziel Domínguez Flores, Juan Carlos Olguin Rojas*
13. Simulación Numérica Del Comportamiento Térmico De Un Macro Túnel Utilizado Para La Producción De Hongos Comestibles Bajo Condiciones De Clima Tropical. . *Sebastian Montaña-Rodriguez, Edwin Andres Villagran Munar, David Felipe Osorio Fiaga, Carlos Ricardo Bojaca, Wilmer Leonardo Velásquez*

14. Estudio de viabilidad económica y comercial para el prototipo de una cosechadora troceadora de agave. *David Vaca-Navarro, César Gutiérrez-Vaca, Armando Rucoba-García, Jesús Hernández-Ruiz, Adriana Villafañá-Aguilera*
15. Ubicación de áreas agrícolas por medio de imágenes satelitales de alta resolución en distintas zonas de Costa Rica. *Andrey Aguilar, Marco Martínez, María José Molina, Luis Diego Monge, Roberto Aguilar, Jonathan Castro*
16. Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento poscosecha de frutos de feijoa. *Alfonso Parra Coronado, Gerhard Fischer, Jesús Hernán Camacho-Tamayo*
17. Cinética del secado de coco por radiación. *Manuel Enrique Umaña Calderón, Janice Muñoz, Yuliana Pacheco, Guillermo Vargas*
18. Modelo Hidráulico para Redes de Canales con Estructuras Hidráulicas. *Felix Santiago Collazo, Walter Silva Araya*