



# TECNOLOGÍA *en marcha*

Revista trimestral  
Abril 2019  
Volumen 32  
ISSN-E 2215-3241

**Número especial**  
**Congreso Latinoamericano  
y del Caribe de Ingeniería Agrícola**

Publicación y directorio en catálogos



**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

latindex

Dialnet  
DOAJ

SciELO  
REDIB  
Red Iberoamericana  
de Innovación y Conocimiento Científico



**Comisión Editorial**

Ana Ruth Vílchez Rodríguez. Directora.  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Juan Antonio Aguilar Garib  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Autónoma de Nuevo León.  
México

Carlos Andrés Arredondo Orozco  
Facultad de Ingenierías  
Universidad de Medellín. Colombia

Lars Köhler  
Experimenteller Botanischer Garten  
Georg-August-Universität Göttingen.  
Alemania

Jorge Solano Jiménez  
Instituto Costarricense del Cemento  
y del Concreto

**Edición técnica**

Alexa Ramírez Vega

**Revisión filológica**

Esperanza Buitrago Poveda

**Diseño gráfico**

Felipe Abarca Fedullo

**Diagramación**

Asesorías Gráficas en Ediciones

**Diseño de cubierta**

Felipe Abarca Fedullo

**Imagen de cubierta**

<https://www.freepik.es/>

**Datos de catalogación en publicación**

Tecnología en Marcha / Editorial Tecnológica  
de Costa Rica. - - Vol. 32, especial abril  
(2019) –Cartago: la Editorial, 2019 –  
Trimestral  
ISSN-E 2215-3241

1. Ciencia y Tecnología –  
Publicaciones periódicas CDD:600

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

Apdo 159-7050 Cartago, Costa Rica  
Tel.:(506) 2550-2297, 2550-2618

Correo electrónico: [editorial@itcr.ac.cr](mailto:editorial@itcr.ac.cr)

Web: [editorial.tec.ac.cr](http://editorial.tec.ac.cr)

[http://revistas.tec.ac.cr/tec\\_marcha](http://revistas.tec.ac.cr/tec_marcha)

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

La Editorial Tecnológica de Costa Rica es una dependencia especializada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Desde su creación, en 1978, se ha dedicado a la edición y publicación de obras en ciencia y tecnología. Las obras que se han editado abarcan distintos ámbitos respondiendo a la orientación general de la Institución.

Hasta el momento se han editado obras que abarcan distintos campos del conocimiento científico-tecnológico y han constituido aportes para los diferentes sectores de la comunidad nacional e internacional.

La principal motivación de la Editorial es recoger y difundir los conocimientos relevantes en ciencia y tecnología, llevándolos a los sectores de la comunidad que los requieren.

La revista *Tecnología en Marcha* es publicada por la Editorial Tecnológica de Costa Rica, con periodicidad trimestral. Su principal temática es la difusión de resultados de investigación en áreas de Ingeniería. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios de todo el mundo.

**Publicación y directorio en catálogos**



# **TECNOLOGÍA** *en marcha*

## Contenido

Presentación .....	3
Prestación de pastillas en el control de enfermedades de trigo <i>Spray nozzles performance on wheat diseases control</i> <i>Matilde Mur, Santiago Gadea, Mariano Julio Ponce, Víctor Hugo Merani, Facundo Daniel Guilino, Roberto Hernan Balbuena, Juan Manuel Vazquez, Telmo Cecilio Palancar .....</i>	5
Estudio de viabilidad económica y comercial para el prototipo de una cosechadora troceadora de agave Study of economic and commercial feasibility for the prototype of an agave harvester <i>David Vaca-Navarro, César Gutiérrez-Vaca, Armando Rucoba-García, Jesús Hernández-Ruiz, Adriana Villafaña-Aguilera. ....</i>	12
Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café Effect of temperature on the speed of coffee roasting <i>María Cristina Porras-Zúñiga, Guillermo Vargas-Elías, Linda Araúz-Madrid, Yailyn N. Abarca-Alpizar .....</i>	20
Desarrollo de una herramienta espatadora de cebolla bulbo Development of a bulb onion topping tool <i>Claudia Patricia Pérez-Rodríguez, Fanny Angélica Torres-Aya, José Eduardo Naranjo-Castillo, Alejandro Esteban Jaimes-Quñones, Ricardo Andrés Anzola-Rodríguez.....</i>	28
Análise do comportamento espectral da água do Rio Doce, Brasil, mediante o rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO Analysis of the spectral behavior of the water of the Doce river, Brazil, through the rupture of the sediment dam of SAMARCO <i>Laura Thebit-Almeida, Felipe Bernardes-Silva, Micael de Souza Fraga, Rayssa Balieiro-Ribeiro, Maria Camila Alves-Ramos, Roberto Avelino-Cecílio.....</i>	36
Ubicación de áreas agrícolas por medio de imágenes satelitales de alta resolución en distintas zonas de Costa Rica Location of agricultural areas through high resolution satellite images in different areas of Costa Rica <i>Andrey Aguilar-Martínez.....</i>	43
Geoportal de suelos de Costa Rica como Bien Público al servicio del país Geoportal of Costa Rican soils as Public Good at the service of the country <i>Rafael Mata-Chinchilla, Jonathan Castro-Chinchilla .....</i>	51

Uso de la tierra y crecimiento de la población en el oriente del estado de México Use of the earth and growth of the population in the east of the state of Mexico <i>Genaro Aguilar-Sánchez, Miriam Julián-Santiago</i> .....	57
Desenvolvimento radicular e folhar do milho ( <i>zea mays</i> ) sob diferentes tipos de subsolagem Radicular development and corn leaf ( <i>zea mays</i> ) under different types of subsolation <i>Paulo Henrique Conte, David Peres da Rosa, Alisson Alves, Artur Zancan, Junior Verardi</i> .....	64
Cinética de secagem de folhas de fumo e suas propriedades termodinâmicas Drying kinetics of tobacco leaves and its thermodynamic properties <i>G. H. H. Oliveira, P. C. Corrêa, A. P. L. R. Oliveira, F. M. Botelho, S. C. C. Botelho</i> .....	71
Simulación numérica del comportamiento térmico de un macro túnel utilizado para la producción de hongos comestibles bajo condiciones de clima tropical Numeric simulation of macrotunnel greenhouse thermic behavior used for edible mushrooms under tropical weather conditions <i>Sebastian Montaña-Rodríguez, Edwin Andrés Villagrán-Munar, David Felipe Osorio-Fiaga, Carlos Ricardo Bojacá-Aldana, Wilmer Leonardo Velásquez-Vargas</i> .....	78
Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento poscosecha de frutos de Feijoa Influence of weather conditions of crop on harvest quality and post-harvest behavior of pineapple guava fruit <i>Alfonso Parra-Coronado, Gerhard Fischer, Jesús Hernán Camacho-Tamayo</i> .....	86
Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de la Masa Corporal de Pollos Artificial Neural Networks for Chicks Body Mass Prediction <i>Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz, Tadayuki Yanagi Junior, Yamid Fabián Hernández Julio, Gabriel Araújo e Silva Ferraz, Daiane Cecchin</i> .....	93
Modelo Hidráulico para Redes de Canales con Estructuras Hidráulicas Hydraulic Model for Channel Networks with Hydraulic Structures <i>Félix Santiago Collazo, Walter Silva Araya</i> .....	100
Producción de biodiesel a partir de semillas de <i>Argemone pleiacantha</i> Greene Biodiesel production from <i>Argemone pleiacantha</i> Greene seeds <i>Ricardo Trejo-Calzada, Elena del Carmen Villarreal-Ornelas, Ignacio Sánchez-Cohe, Miguel Agustín Velásquez-Valle, Mali Nay BuendíaTamariz</i> .....	107
Cinética del secado de coco por radiación Modelling of thin layer radiation drying of coconut <i>Manuel Umaña-Calderón, Janice Muñoz-Mena, Yuliana Pacheco-Retana, Guillermo Vargas-Elías</i> .....	113
Instrumentación de un generador Instrumentation of a generator <i>Sergio Alexis Valdovinos-Valdovinos, Ovaldo Galicia Galicia-Sánchez, Luis Antonio Castro-López, Bonifacio Gaona-Ponce, Raziél Domínguez-Flores, Juan Carlos Olguín-Rojas</i>	120
Distribuição longitudinal de fertilizante granulado em diferentes inclinações e posição da rosca de um dosador de rosca helicoidal dupla Longitudinal distribution of granulated fertilizer in different tiltings and position of the thread position of a double helicoidal doser <i>Júnior Verardi, David Peres da Rosa, Artur Zancan, Paulo Conte, Marcos Longaretti, Roger Toscan Spagnolo</i> .....	126



# Presentación

## Karolina Villagra-Mendoza

Del 4 al 7 de junio del 2018, Costa Rica fue la sede del XIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola (XIII CLIA2018), organizado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad de Costa Rica, la Asociación Costarricense de Ingeniería Agrícola (ACIA), la Asociación Profesional de Ingenieros Agrícolas graduados del TEC (APIATEC) adscrita al Colegio de Ingenieros Tecnólogos (CITEC) y la Comisión de Ingeniería Agrícola del Colegio de Ingenieros Eléctricos, Mecánicos e Industriales (CIEMI), ambos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) y la Asociación Latinoamericana de Ingenieros Agrícolas (ALIA). Dicho Congreso se realiza cada dos años y reúne a gremios profesionales y académicos de la Ingeniería Agrícola, así como carreras afines de toda Latinoamérica.

Para este Congreso se contó con la participación de nueve conferencistas nacionales e internacionales de los cuales se destacan el Dr. Umezuruike Linus Opara, profesor distinguido de la Universidad de Stellenbosch en Sudáfrica, Director de Investigación del Departamento de Ciencia y Tecnología de dicha universidad, y de la Fundación Nacional de Investigación de Sudáfrica en el área de Tecnologías Postcosecha, presidente electo de la Comisión Internacional de Ingeniería Agrícola y Biosistemas (CIGR) y Presidente de la Sociedad Panafricana de Ingeniería Agrícola AfroAgEng; el Dr. Fedro Zazueta, profesor del Departamento de Agricultura e Ingeniería Biológica de la Universidad de Florida, Secretario de la CIGR y presidente electo de la Academia Internacional de Ingeniería Agrícola y Biosistemas (iAABE); la Dra. Irenilza de Alencar Nääs, profesora de la Universidad Paulista de Brasil, presidenta honoraria de la CIGR; el Dr. Stanley C. Best Sepulveda, Director del Programa de Agricultura de Precisión del INIA, Chile y miembro del Club de Bologna; y el Dr. Ricardo Radulovich, profesor catedrático de la Escuela de Ingeniería Agrícola y Biosistemas de la UCR y Premio Nacional de Ciencia y Tecnología Clodomiro Picado Twilight 2017.



Durante el Congreso se escucharon 109 ponencias orales y 35 ponencias tipo poster distribuidos entre los siete ejes temáticos del Congreso:

- Educación en la Ingeniería Agrícola y Biosistemas
- Sistemas y Tecnologías de Producción de Alimentos y Postcosecha
- Maquinaria Agrícola y Agroindustrial
- Ingeniería del Suelo y Agua
- Infraestructura Rural y Ambientes Protegidos
- Geoinformática
- Energía, Biomasa y Manejo de Residuos

Como producto de la revisión de los resúmenes extendidos por parte del Comité Científico del Congreso (conformado por distinguidos profesores e investigadores en Ingeniería Agrícola de Latinoamérica y el Caribe) se seleccionaron los mejores 18 trabajos, los cuales son publicados en la presente edición especial de esta revista.



# Prestación de pastillas en el control de enfermedades de trigo

## Spray nozzles performance on wheat diseases control

Matilde Mur<sup>1</sup>, Santiago Gadea<sup>2</sup>, Mariano Julio Ponce<sup>3</sup>, Víctor Hugo Merani<sup>4</sup>, Facundo Daniel Guilino<sup>5</sup>, Roberto Hernan Balbuena<sup>6</sup>, Juan Manuel Vazquez<sup>7</sup>, Telmo Cecilio Palancar<sup>8</sup>

Mur, M; Gadea, S; Ponce, M; Merani, V; Guilino, F; Balbuena, R; Vasquez, J; Palancar, T. Prestación de pastillas en el control de enfermedades de trigo. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 5-11.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4240>



- 1 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Correo electrónico: matilde\_mur@hotmail.com
- 2 Estudiante, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- 3 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- 4 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- 5 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- 6 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- 7 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- 8 Ingeniero Agrónomo, Curso de Mecanización Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

## Palabras clave

Cobertura; eficiencia; doble abanico; aire inducido.

## Resumen

Las enfermedades fúngicas en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) ocasionan pérdidas importantes en rendimiento y calidad de los granos. Se realizaron ensayos sobre un cultivo de trigo en antesis temprana (estado Z61), para evaluar la prestación de diferentes pastillas. El ensayo fue conducido en un esquema factorial de 4x2 con 10 repeticiones. Los factores fueron cuatro pastillas: abanico plano (XR11002), doble abanico asimétrico con aire inducido (AI3070-02), doble abanico simétrico con aire inducido (GAT11002), cono hueco (TXA8002), y dos objetivos artificiales, uno vertical representando la espiga y otro horizontal para la hoja bandera. Se utilizaron tarjetas hidrosensibles y el programa CIR 1.5<sup>®</sup> para la determinación de densidad de impactos (DI, imp cm<sup>-2</sup>), cobertura (COB, %) y deposición (%), siendo ésta contrastada con el uso de trazador Azul Brillante. Se realizó análisis de la varianza y las medias fueron comparadas por el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). La pastilla TXA8002 alcanzó la mejor prestación, en DI, COB y deposición. AI3070 logró similar depósito que TXA8002 en la espiga, 51% y 45% respectivamente, pese a tener la menor DI, (44 imp cm<sup>-2</sup>), mientras que en hoja bandera TXA8002 tuvo el mayor porcentaje de depósito (40%). Las pastillas con aire inducido tuvieron la menor DI pero una mayor uniformidad entre las distintas caras de la espiga. Las metodologías de evaluación utilizadas resultaron complementarias para realizar un análisis completo de caracterización de la aplicación.

## Keywords

Coverage; efficiency; twin nozzles; air induction.

## Abstract

Fungal diseases in wheat crops (*Triticum aestivum*) cause significant yield and quality grain losses worldwide. Field trials were carried out at the beginning of anthesis on wheat crop (state Z61), to evaluate different spray nozzles performance. The test was arranged in a 4x2 factorial design with ten repetitions. Factors consisted in four nozzles: flat-fan (XR 11002), air induction asymmetrical dual flat fan (AI3070-02), air induction symmetrical dual flat fan (GAT11002), hollow cone (TXA8002), and two artificial targets, one vertical and another horizontal related to head and flag leaf location, respectively. Water-sensitive cards and CIR 1.5<sup>®</sup> software were used for their evaluation, determining droplet density (DD, drop cm<sup>-2</sup>), coverage (%) and deposition (%), being the latter contrasted with the use of Brilliant Blue tracer. Data were subjected to ANOVA and means were compared by Tukey test ( $p \leq 0,05$ ). The TXA8002 reached the best performance in DD, coverage, and deposition. AI3070 achieved similar deposition than TXA8002 in head, 51% and 45% respectively, despite having the lowest DD (44 drop cm<sup>-2</sup>), while TXA8002 had the higher deposition on flag leaf (40%). Air induction nozzles had the lowest DD but greater uniformity between head sides. The evaluation methodologies used are complementary when a complete analysis of application parameters is looking for.



## Introducción

El trigo (*Triticum aestivum*) es el cereal de invierno más importante de la Argentina. La presencia de enfermedades foliares y de la espiga provocan grandes reducciones en el rendimiento y en la calidad de los granos. Para lograr disminuir el desarrollo de las mismas, se hace hincapié en la aplicación de fungicidas en el momento oportuno. En el caso de la fusariosis de la espiga, la aplicación debe ser en forma preventiva, con productos fungicidas que actúen principalmente como de contacto, por lo cual deben ser aplicados inmediatamente antes de la ocurrencia de la infección. Se recomienda para aplicaciones de fungicidas de contacto una cobertura mínima de 60 gotas por  $\text{cm}^2$  [1]. Sin embargo, además de la densidad de impactos, también es importante el diámetro de los mismos para este tipo de productos. Se han obtenido mejores porcentajes de cobertura, tanto en la espiga como en la hoja bandera pulverizando con gotas finas [2]. El tipo de boquilla afecta significativamente la deposición tanto en la cara frontal, como en la trasera y en todo el objetivo [3]. En este sentido, las boquillas de doble abanico plano presentaron mayor uniformidad de distribución sobre las espigas que las boquillas de abanico plano convencional, determinando una mayor cobertura y control de la enfermedad [4]. Evaluando pastillas simétricas y asimétricas, se ha determinado una mayor densidad de impactos y cobertura con boquillas anguladas en  $30^\circ$  hacia adelante y hacia atrás [5].

En razón de lo expuesto, los resultados son variables y complejos, lo que hace importante la evaluación de las aplicaciones de fitoterápicos. El uso de tarjetas hidrosensibles es una metodología accesible y simple que permite la valoración de distintos parámetros que inciden sobre la eficiencia de control. En los últimos años se han desarrollado diferentes formas de procesamiento digital de tarjetas, que permiten cuantificar características de la población de gotas y la cantidad de producto depositado, que se expresa como eficiencia. Al respecto, comparando pastillas convencionales y de aire inducido, se ha encontrado que la metodología de procesamiento de imágenes sobreestima la eficiencia de aplicación para pastillas con inducción de aire principalmente [6]. El presente trabajo tiene por objetivos evaluar la calidad y uniformidad de aplicación de diferentes tipos de boquillas sobre un cultivo de trigo y determinar la deposición de las mismas calculada a partir de la metodología de digitalización de imágenes y la determinación analítica por colorimetría.

## Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron sobre un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) en antesis temprana. Se utilizó un equipo pulverizador hidráulico con un ancho de 8,4 m, portapicos distanciados a 0,525 m y altura de botalón respecto a la espiga de 0,38 m. La velocidad de desplazamiento fue de  $2,45 \text{ m s}^{-1}$ , la presión de trabajo de 300 kPa y la tasa de aplicación de  $103 \text{ l ha}^{-1}$ . Para las aplicaciones se utilizó agua y un trazador colorimétrico Azul Brillante en una dilución de  $13,073 \text{ g l}^{-1}$ . Las condiciones meteorológicas promedio durante el ensayo fueron: temperatura  $26^\circ\text{C}$ , humedad relativa 41% y velocidad del viento de  $5 \text{ km h}^{-1}$  con ráfagas de  $11,3 \text{ km h}^{-1}$ . Se utilizó un diseño factorial de  $4 \times 2$  con diez repeticiones distribuidas al azar. Se evaluaron cuatro diseños de pastillas, abanico plano 11002 (AP), cono hueco 8002 (CH), doble abanico simétrico con aire inducido 11002 (AI 3030) y doble abanico asimétrico con aire inducido 11002 (AI 3070) que definieron los tratamientos y se establecieron dos objetivos de medición: uno vertical, la espiga; y otro horizontal, la hoja bandera. Los objetivos verticales fueron evaluados con dos metodologías. Por un lado, luego de realizada la aplicación, se recolectaron diez espigas y se lavaron con agua destilada. Con el residuo obtenido se realizó la lectura de color mediante un espectrofotómetro y a partir de curvas de calibración se determinó la cantidad de líquido recolectado en cada una. Por otro lado, mediante un tubo apoyado sobre la espiga, se colocaron cuatro tarjetas hidrosensibles simulando las caras de la misma: anterior, posterior, derecha e

izquierda. Esta última metodología fue también utilizada para valorar los objetivos horizontales, colocando papeles sensibles sobre un soporte de hierro a la altura de la hoja bandera. Las tarjetas fueron digitalizadas a 1200 dpi y analizadas con el software de imágenes CIR 1.5®, determinando: 1) Densidad de impactos (DI, imp. cm<sup>-2</sup>); 2) Cobertura (COB, %) y 3) Deposición (%) referida como la relación entre el volumen recogido en el objetivo y el aplicado por la pulverizadora. Sobre los datos relevados se efectuó un análisis factorial siendo la significancia de las diferencias establecidas por el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## Resultados y discusión

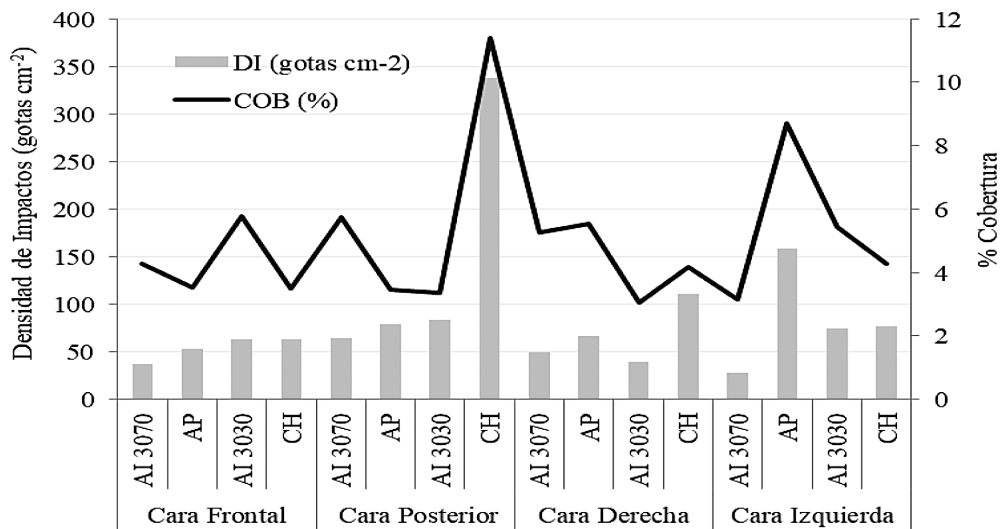
Tanto en espiga como en hoja bandera la boquilla CH presentó la mayor DI y las de doble abanico la menor (cuadro 1), atribuyendo estas diferencias al espectro de gotas de menor tamaño de las boquillas CH, con mayor probabilidad de depositarse que las gotas más grandes. Todos los tratamientos presentaron mayor DI sobre la hoja bandera respecto a la espiga, corroborando las dificultades de las gotas para alcanzar el objetivo vertical, vinculadas a la propia estructura de la espiga y su orientación. Tomando la recomendación de [1], de 60 imp cm<sup>-2</sup>, a excepción de la boquilla AI3070, todas alcanzaron en la espiga la DI necesarios.

**Cuadro 1.** Densidad de impactos (DI) y % de Cobertura (COB) sobre espiga y hoja bandera para AP: abanico plano 11002; CH: cono hueco TXA 8002; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002 y AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de Tukey entre boquillas para cada objetivo y cada variable respuesta. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de Tukey entre objetivos para cada variable respuesta.

DI (gotas cm <sup>-2</sup> )					% COB				
Pastillas	Espiga		Hoja Bandera		Pastillas	Espiga		Hoja Bandera	
AI 3070	44,4 a	A	80,78 a	B	AI 3070	4,6 a	A	15,76 a	B
AP	89,58 a		195,9 b		AP	5,3 a		16,51 a	
AI 3030	64,8 a		91,9 a		AI 3030	4,4 a		12 a	
CH	147,33 b		277,9 c		CH	5,8 a		15,78 a	

En el análisis de la DI en las caras de la espiga (figura 1), CH, AI3030 y AI3070 lograron la mayor cantidad sobre la cara posterior, aunque solo CH se diferenció significativamente. La angulación hacia atrás de las pastillas doble abanico, en 30° para AI3030 y 70° para AI3070, permite que el chorro asperjado sea dirigido hacia la parte posterior principalmente. Asimismo, el tamaño de gota reducido y el efecto de rotación del flujo en 360° de CH determinan que las gotas se muevan en múltiples direcciones alcanzando a la espiga en toda su superficie. En cambio, el comportamiento de AP puede deberse a la posición de la boquilla respecto al botalón, sin angulación, definiendo una cortina de pulverizado con mayor incidencia en los laterales. En la valoración de la uniformidad de distribución, las boquillas de doble abanico presentaron mayor uniformidad respecto a CH y AP, en acuerdo con [4]. CH fue la que mayor desuniformidad presentó, mientras que AP tuvo un comportamiento intermedio atribuible, en principio, al perfil de distribución triangular, sin grandes depresiones en la zona central.





**Figura 1.** Densidad de impactos (DI) y % de Cobertura (COB) sobre las caras de la espiga para AP: abanico plano 11002; CH: cono hueco TXA 8002; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002 y AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002.

En cuanto a la COB, las tendencias resultaron semejantes a las de DI, con los mayores porcentajes sobre la hoja bandera, con diferencias significativas respecto a la espiga para todas las boquillas. En la espiga, los porcentajes de COB no superaron el 6%, mientras que en la hoja bandera entre el 12% y 16% aproximadamente. Los bajos porcentajes sobre las espigas, ponen en riesgo el control de la Fusariosis, siendo que los productos actúan principalmente por contacto sobre el filamento de la antera. Tanto en el objetivo vertical como en el horizontal, las boquillas tuvieron similar comportamiento, CH y AP lograron porcentajes apenas superior a las boquillas anguladas, sin diferencias significativas, en acuerdo con [2] quienes obtuvieron los mejores porcentajes de COB con gotas finas, representativas de AP y CH. Las boquillas doble abanico, tuvieron similar prestación en la espiga pero no en la hoja bandera, donde AI3030 tuvo la menor COB, en contraposición a lo observado por [5].

En el análisis de la COB sobre las caras de la espiga, CH, AI3070 y AP presentaron los mayores porcentajes sobre la cara posterior en correspondencia con el número de impactos, pero en AI3030, fue la cara frontal la de mayor COB asociado esto a un mayor diámetro de las gotas que alcanzaron esa superficie. Los menores porcentajes de COB con las boquillas doble abanico, se observaron en los laterales de la espiga, pudiendo deberse a los ángulos de las mismas que producen un asperjado direccionado principalmente hacia las caras anterior y posterior. Hacia los laterales, la cantidad de líquido pulverizado disminuye en acuerdo con el perfil característico del abanico y la mayor distancia hacia el objetivo incide en la trayectoria de las gotas de los extremos que tienden a caer en sentido vertical a medida que se alejan. Mientras que, para las boquillas convencionales los menores porcentajes estuvieron en la cara frontal. No obstante estas consideraciones, las boquillas mantuvieron la uniformidad que se observó en la variable DI.

En lo referente a la recuperación del producto sobre la espiga, el software CIR 1.5 arrojó mayores valores, siendo la diferencia respecto al trazador significativa (cuadro 2). Estos resultados permiten confirmar que el programa sobreestima la eficiencia de aplicación en acuerdo con [6]. Asimismo, con la metodología de procesamiento de imágenes, los resultados presentaron gran variabilidad, sin diferencias significativas entre boquillas. Por lo contrario,

con el uso del trazador, las boquillas se diferenciaron significativamente y los resultados fueron altamente estables, lo que indica en parte la confiabilidad de la metodología. En este sentido, los resultados tuvieron similar tendencia a los de cobertura, CH presentó la mayor deposición, significativamente diferente a AP y AI3030, pero con similar comportamiento a AI3070. En el análisis comparativo de las pastillas doble abanico respecto a AP, la inclinación en 30° de AI3030 no fue suficiente para mejorar los depósitos, siendo necesaria una mayor angulación. De los resultados se desprende que el tipo de boquilla afecta significativamente la deposición en el objetivo, en coincidencia con [3]. La combinación de una pulverización dirigida hacia el objetivo junto con un tamaño de gota reducido, pareciera ser la mejor alternativa para una mayor eficiencia sobre la espiga, en condiciones atmosféricas ideales.

**Cuadro 2.** Depósito de caldo sobre la espiga según metodología de valoración y coeficiente de corrección. CIR 1.5: programa de procesamiento de imágenes; T: trazador. AP: abanico plano 11002; CH: cono hueco TXA 8002; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de Tukey entre boquillas para cada metodología. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de Tukey entre metodologías.

Pastillas	CIR 1.5		Trazador (T)		Coeficiente de corrección (CIR 1.5/T)
CH	63,06 a	B	51,01 c	A	1,24
AI 3030	63,74 a		20,81 a		3,06
AI 3070	91,36 a		44,92 bc		2,03
AP	70,85 a		35,89 b		1,97

Los coeficientes de corrección obtenidos a partir de la relación de solución recuperada entre las dos metodologías (cuadro 2), fueron mayores para las boquillas de aire inducido, mientras que para CH y AP fueron menores. Estos resultados, corroboran la sobreestimación de la metodología de análisis digital de tarjetas hidrosensibles, siendo la sobrevaloración mayor para las inducidas con aire respecto de las convencionales, en acuerdo con [6]. Estas diferencias podrían ser explicadas por las características de las gotas con aire inducido, que impactan y dejan manchas en relación a su volumen y no de la real cantidad de agua que contienen. Además, al golpear en la superficie de la tarjeta la misma se rompe y genera nuevas gotas con un volumen que es estimado en forma repetida [6]. En cuanto a las gotas de menor tamaño, la menor sobreestimación estaría relacionada con la menor masa y menor arrastre de las mismas, además de las limitaciones del papel hidrosensible en detectar impactos de tamaño reducido. Afectando los valores de eficiencia con los coeficientes (cuadro 3), se encontró similar tendencia en ambos objetivos, siendo CH la de mayores eficiencias, con diferencias significativas respecto a AI3030. No obstante, las eficiencias fueron relativamente bajas, no superando el 50 % en la espiga, mientras que en la hoja bandera, solo CH alcanzó el 40% de producto depositado.

La distribución del asperjado sobre la espiga, presentó diferentes comportamientos. CH fue la más desuniforme, debido a la gran deposición en la cara posterior respecto a las demás. En tanto que, las boquillas de doble abanico presentaron una mayor uniformidad, con una variación entre caras del 9% a 13%. Es claro que las direcciones múltiples son una mejora en general con respecto a las pastillas convencionales en la uniformidad de distribución más que en la cantidad de depósitos sobre el objetivo.

**Cuadro 3.** Depósito de caldo recogido sobre la espiga y hoja bandera luego de ser afectado por el coeficiente. AP: abanico plano 11002; CH: cono hueco TXA 8002; AI3030: doble abanico simétrico con aire inducido 11002; AI3070: doble abanico asimétrico con aire inducido 11002. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de Tukey entre boquillas para cada objetivo. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según el test de Tukey entre objetivos para cada boquilla.

Objetivos de aplicación	Pastillas	% Depósito	Objetivo de aplicación	Pastillas	% Depósito
Espiga	AI 3070	45,01 b A	Hoja Bandera	AI 3070	26,18 ab A
	AP	35,96 ab A		AP	31,27 ab B
	AI 3030	20,83 a A		AI 3030	17,01 a A
	CH	50,85 b A		CH	40,47 b A

## Conclusiones

La inclinación en 70° hacia atrás, mejora la COB y la deposición sobre la espiga respecto a ángulos menores. Sin embargo, inclinaciones de 30° hacia adelante no mejoran la penetración respecto a la posición vertical. La utilización de gotas finas y direcciones múltiples aumentan la COB y la deposición en objetivos verticales y horizontales, mientras las condiciones atmosféricas lo permitan. Las metodologías de evaluación utilizadas presentan ventajas y desventajas que son complementarias al momento de realizar un análisis completo de caracterización de la aplicación.

## Referencias

- [1] M. A. Gandolfo, J. Bueno, J. Torres Pereira, W. Sánchez, B. F. Zanni, y R. B. Belani. (2007). *Avaliação da qualidade da aplicação com diferentes pontas de pulverização e diferentes volumes de aplicação na soja*. Anais I Simpósio em Engenharia Rural (43-47). Universidade Estadual do Paraná Bandeirantes, Brasil.
- [2] R. C. Derksen, P. A. Paul, H. E. Ozkan y H. Zhu. (2012). *Field evaluations of application techniques for fungicide spray deposition on wheat and artificial targets*. Applied Engineering in Agriculture. 28(2): 325-331.
- [3] T. M. Wolf y B. C. Caldwell. (2013). *Spray Deposition of TeeJet AI3070VS on Vertical Targets*. Agriculture & Agri-Food Canada.
- [4] P. Nicholson, J. Turner, P. Jenkinson, P. Jennings, J. Stonehouse, M. Nuttall, D. Dring, G. Weston y M. Thomsett. (2003). *Maximising control with fungicides of Fusarium ear blight (FEB) in order to reduce toxin contamination of wheat*. Recuperado de: <http://www.hgca.com>.
- [5] J. C. Ferguson, A. J. Hewitt y C. C. O'Donell. (2016). *Pressure, droplet size classification, and nozzle arrangement effects on coverage and droplet number density using air-inclusion dual fan nozzles for pesticide applications*. Crop Protection 89: 231-238.
- [6] G. N. Domper, R. H. Balbuena y M. Mur. (2015). *Eficiencia de aplicación de pastillas de pulverización con inducción de aire en el cultivo de soja*. Recuperado de: <http://www.agro.unlp.edu.ar/revista/index.php/revagro/article/view/280/171>.



# Estudio de viabilidad económica y comercial para el prototipo de una cosechadora troceadora de agave

## Study of economic and commercial feasibility for the prototype of an agave harvester

David Vaca-Navarro<sup>1</sup>, César Gutiérrez-Vaca<sup>2</sup>, Armando Rucoba-García<sup>3</sup>, Jesús Hernández-Ruíz<sup>4</sup>, Adriana Villafañá-Aguilera<sup>5</sup>

---

Vaca-Navarro, D; Gutiérrez-Vaca, C; Rucoba-García, A; Hernández-Ruíz, J; Villafañá-Aguilera, A. Estudio de viabilidad económica y comercial para el prototipo de una cosechadora troceadora de agave. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 12-19.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4254>

1 Alumno de Licenciatura en Agronegocios, Universidad de Guanajuato División Ciencias de la Vida Irapuato Guanajuato México. Correo electrónico: david\_agronegocios@outlook.com

2 Profesor del Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Guanajuato División Ciencias de la Vida Irapuato Guanajuato México. Correo electrónico: cesarg@ugto.mx

3 Profesor del Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato División Ciencias de la Vida Irapuato Guanajuato México. Correo electrónico: arucoba@gmail.com

4 Profesor del Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato División Ciencias de la Vida Irapuato Guanajuato México. Correo electrónico: hernandez.jesus@ugto.mx

5 Universidad de Guanajuato División Ciencias de la Vida Irapuato Guanajuato, México.



## Palabras clave

Factibilidad; Mercado; Máquina.

## Resumen

Investigadores de la Universidad de Guanajuato han creado un prototipo de máquina cosechadora troceadora de agave, dicha maquina resulta ser única en su tipo, dado que no existe maquina semejante en la actualidad, lo que genera un campo de desconocimiento en cuanto a viabilidad económica, segmentación de mercado, y costo beneficio con respecto al método tradicional de cosecha de agave. Fue necesario realizar un estudio, para comprobar la viabilidad económica de la máquina, y compararlo contra la forma actual de cosecha manual de agave (*Jima*). Se realizó la posible segmentación y sus variables y se determinaron los posibles canales de comercialización y el mercado potencial para la máquina de cosecha. Los resultados muestran que existe un mercado para la máquina cosechadora en la industria de procesamiento de tequila y en menor medida en la industria de procesamiento de biocombustible, existen en ambos casos mercado potencial para comercializar 125 máquinas por año entre en ambos sectores. La cosecha mecanizada de agave resulta ser más económica en \$ 2,770 / Ha aproximadamente, al comparar los costos contra la cosecha manual. Así mismo muestra un mercado objetivo claro y amplio con un total de más de 250 posibles clientes entre los industriales del tequila, fabricantes de maquinaria agrícola e industriales de productos derivados del agave, estos solo en México, lo que se considera una buena capacidad de comercio.

## Keywords

Feasibility; Market; Machine.

## Abstract

Researchers from the University of Guanajuato have created a prototype of agave chopper harvester machine; this machine turns out to be unique in its type, since there is no similar machine at present, which generates uncertainty in terms of economic viability, segmentation of market, and cost benefit with respect to the traditional agave harvest method. It was necessary to carry out a study, to verify the economic viability of the machine, and compare it against the current agave manual harvesting (*Jima*). The possible segmentation and its variables were carried out and the possible marketing channels and the potential market for the harvesting machine were determined. The results show that there is a market for the harvester machine in the tequila processing industry and to a lesser extent in the biofuel processing industry, in both cases there is a potential market to market 125 machines per year between both sectors. The mechanized harvest of agave turns out to be more economical at \$ 2,770/ha approximately, when comparing the costs against the manual harvest. It also shows a clear and broad target market with a total of more than 250 potential customers among tequila manufacturers, manufacturers of agricultural machinery and industrial agave products, these only in Mexico, which is considered a good trade capacity .

## Introducción

La industria mexicana del agave resulta ser una de las más grandes y con más tradición del país, ya que representa gran parte de la esencia mexicana junto con la gran variedad de

productos obtenidos a base de éste, como es el caso del tequila, una de las bebidas más representativas de México, además de los nuevos usos que se les ha dado a esta mística planta, como por ejemplo; el uso de ésta en la fabricación de materiales, fibras y más recientemente en biocombustible, estos han sido motivo de que el agave se convierta en una planta muy solicitada por los mercados actuales y junto con esto la impetuosa necesidad de crear procesos más rápidos, eficaces y eficientes en la producción de dichos productos y aunque a lo largo del tiempo se han mecanizado y automatizado gran parte de estos procesos, la cosecha del agave, mejor conocida como “*Jima*”, sigue siendo un proceso manual.

En cuanto a la producción nacional en el 2016 la superficie cosechada total del país fue 21,732 hectáreas, con un valor de \$ 8´008,950 siendo Jalisco y Guanajuato los principales productores de agave como se muestra en el cuadro 1 según datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [1]. La producción se extiende a lo largo de 10 estados de la República Mexicana, y es la industria tequilera la que más producción de agave absorbe. Tan sólo en 2015, generó 228.5 millones de litros de tequila. Este sector también produce, a la par, una gran cantidad de residuos que, con ayuda de una biorrefinería, pueden traducirse en biocombustibles. De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Tequilera [2], para la producción del año pasado se generaron 700 mil toneladas de hojas de agave, 1 millón 700 mil litros de vinazas y 270 mil toneladas de bagazo, ese para la producción de bioetanol.

**Cuadro 1.** Reporte al cierre de producción de agave al año 2016.

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Baja California	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Baja California Sur	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Durango	313.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Guanajuato	14,922.00	1,978.00	124,314.20	62.85	2,338.31	290,685.25
Guerrero	1,816.41	206.80	6,391.54	30.91	1,784.50	11,405.73
Jalisco	67,060.88	14,563.61	1,340,811.90	92.07	5,031.35	6,746,097.97
Michoacán	4,007.74	728.00	48,635.00	66.81	2,851.28	138,671.99
Morelos	107.00	50.00	4,110.00	82.20	3,278.10	13,473.00
México	105.00	105.00	8,349.00	79.51	2,805.27	23,421.18
Nayarit	4,816.94	372.00	29,755.00	79.99	3,745.60	111,450.46
Oaxaca	7,748.26	1,199.00	72,704.67	60.64	2,302.62	167,411.34
Puebla	195.50	195.50	18,677.81	95.54	1,241.72	23,192.56
Querétaro	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sinaloa	1,007.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sonora	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tamaulipas	3,111.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Veracruz	541.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zacatecas	2,333.50	2,333.50	192,595.95	82.54	2,508.57	483,141.01
	<b>108,119.83</b>	<b>21,731.41</b>	<b>1,846,345.07</b>	<b>84.96</b>	<b>4,337.73</b>	<b>8,008,950.48</b>

De lo anterior se destaca la necesidad de crear una máquina para la cosecha que haga este proceso más eficiente. El prototipo de la cosechadora troceadora de agave [3] busca cubrir esta necesidad, revolucionando el proceso de cosecha de agave, siendo ésta una máquina de cosecha única en su tipo que se enfrenta a un escenario desconocido, lo cual genera la necesidad de comprobar que la máquina sea viable; comercial y económicamente. El presente

estudio de viabilidad económica se realizó utilizando un análisis de mercado que incluye una segmentación de mercado precisa y servirá de apoyo para conocer a los clientes potenciales, ubicar un canal de comercialización adecuado para maximizar utilidades y llegar al mercado objetivo. De la misma manera se realizó una medición de mercado potencial para medir la amplitud del mismo, además de un cuadro de comparación que sirve de apoyo para verificar la viabilidad con respecto al proceso actual y tradicional, y finalmente un análisis financiero del prototipo.

Comparado con otros cultivos las plantas de agave constituyen una buena alternativa para la producción de etanol [4]. La variedad mejorada de Agave tequilana weber contiene 3 veces más azúcares que la caña de azúcar, hasta 42° Brix- y produce 4 veces más celulosa (hasta 26 toneladas/Ha/año) que el eucalipto de rápido crecimiento y el cuádruple de biomasa (hasta 200 ton/Ha/año) que el álamo transgénico diseñado en USA para producción de biomasa para etanol celulósico [5] . El azúcar contenido en la planta no solo se concentra en la piña sino también en las hojas donde se puede contener hasta el 13% del peso de la misma [6].

## Materiales y métodos

### Prototipo de la cosechadora de agave

La cosechadora de agave es una Máquina tirada por el tractor, de forma lateral, que cosecha y trocea la planta de agave (hojas y piña) en secciones de 5 mm aproximadamente, al paso del sistema tractor – cosechadora (Véase figura 1). El sistema avanza a 5 cm/s (0.2 km/h) lo que permite un troceado fino del material vegetal.



**Figura 1.** Sistema tractor – cosechadora de agave.

### Determinación de la demanda potencial

El mercado, aun no siendo algo real y palpable, sino un concepto que engloba a los que podrían ser clientes de la empresa, puede calcularse a través de diversas técnicas. En este caso conociendo la superficie sembrada al año 2016 y el promedio de cosecha en los últimos 10 años, del 2007 al 2016, se estimó que al año se alcanza un porcentaje de cosecha del 14.6%. Considerando el rendimiento de la cosechadora en ha/día, durante 260 días hábiles al año, se obtuvo el resultado de demanda potencial de cosechadoras, de acuerdo a la siguiente relación:



$$n = \frac{Q}{pq}$$

Donde;

*n*: Representa número potencial de cosechadoras que puede absorber el mercado

*Q*: Número de hectáreas promedio que se cosechan al año

*p*: Rapidez de trabajo de la cosechadora en ha/día-máquina

*q*: Días promedio que se estima se cosecharán al año

### Análisis comparativo cosecha mecanizada versus *Jima*

El análisis comparativo es una herramienta básica, pero que suele ser un método sencillo y práctico, para elegir entre dos opciones planteadas de cualquier naturaleza. Para este caso se hizo una comparación económica, donde se tomaron en cuenta cada uno de los costos, tanto fijos como variables, de la implementación de la maquina en el proceso de cosecha de agave y se compararon contra los costos de hacer el proceso manual tradicional de *Jima*.

### Determinación de mercado y canales de comercialización

La segmentación de mercado divide el mercado en grupos con características y necesidades semejantes para poder ofrecer una oferta diferenciada y adaptada a cada uno de los grupos objetivo. Existen diferentes variables para segmentar el mercado, dependiendo de cada empresa se utilizará una combinación diferente. Aunque resulta complejo segmentar el mercado industrial se han podido establecer varios criterios útiles para llevarla a cabo.

En cuanto a los canales de comercialización según sean las etapas de propiedad que recorre el producto o servicio hasta el cliente así será la denominación del canal. La estructuración de los diferentes canales, considerando el planteamiento de Muñiz [7], se describen en el cuadro 2 y permiten definir el mejor canal de comercialización para la cosechadora de agave.

**Cuadro 2.** Posible canales de comercialización de productos o servicios.

Canal	Recorrido								
Directo	Fabricante	F						Consumidor	
Corto	Fabricante	F				Detallista	F	Consumidor	
Largo	Fabricante	F		Mayorista	F	Detallista	F	Consumidor	
Doble	Fabricante	F	Agentes	F	Mayorista	F	Detallista	F	Consumidor

## Resultados

### Estimación de demanda potencial

En el cuadro 3 se muestra la estimación de demanda potencial considerando las diversas variables involucradas, lo que indica que se podrán colocar en el mercado actual hasta 125 máquinas cosechadoras de agave.

### Análisis comparativo (cosechadora vs Jima)

En el cuadro 4 se muestran los costos de fijos y variables de la cosechadora de agave así como los de un tractor agrícola con capacidad para operar la cosechadora. Dado que los costos variables son impredecibles se considera otra cantidad igual para realizar la reparación y mantenimiento de la cosechadora así como del tractor, práctica aceptada en los análisis de inversión en maquinaria agrícola. En términos de porcentaje el costo fijo representa un 33% del total lo que se considera aceptable, pero mientras más pequeño mejor.

**Cuadro 3.** Estimación de demanda potencial para la cosechadora de agave.

Superficie sembrada	111,420 ha	SIAP: reporte de cierre de producción del año 2016
Porcentaje de cosecha anual (promedio últimos 10 años)	14.578%	SIAP: promedio anual reporte del cierre de producción años 2007-2016
Superficie por cosechar	16,243 ha	Estimado de acuerdo al % de cosecha promedio
Rendimiento de la cosechadora	0.50 ha/día	Dato reportado por los constructores.
Días reales de cosecha	260 días	Considerando tiempos muertos y días inhábiles
Hectáreas/año/cosechadora	130 ha	Estimado por rendimiento y días laborables
Total de cosechadoras	125	$n = \frac{Q}{pq}$

**Cuadro 4.** Costo del sistema cosechadora - tractor.

Costos fijos	Costos variables	
Valor de la cosechadora \$1'000,000	Combustible ----\$1,600	\$16/1Lt 100Lts por día
Vida útil - - - - - 5 años		
Costo por año - - - - - -\$200,000	Tractorista -----\$250	pago de jornal promedio
Costo por día - - - - - \$547.94		se estima un valor igual al costo de la maquina por día
Valor del tractor* - - -\$1,220,792.05	Reparación y mantenimiento de la cosechadora-----\$547.94	
Vida útil - - - - - 10 años	Reparación y mantenimiento del tractor -----	se estima un valor igual al costo de la maquina por día
Costo por año - - - - - -\$122, 079.20	\$334.46	
Costo por día - - - - - -\$ 334.46		
Costos fijos por día \$882.40	Costos variables por día \$2,732.40	
Costo por día	\$3,614.80**	

\* Cotizando un tractor John Deere modelo 7425 de doble tracción

\*\* Pesos mexicanos con paridad cambiaria en \$18 por cada \$USD 1

Al comparar los costos de la cosecha mecanizada y manual resulta que es \$2,770 por hectárea más barata realizarla de forma mecanizada (véase cuadro 5). Considerando tal ahorro y el número de hectáreas estimadas que podría cosechar la máquina al año (130 ha) resulta en un ahorro de \$360,000 pesos por año, al realizar la Jima de forma mecanizada comparada con la manual, por lo que si se considera el costo de adquisición de 1 millón de pesos de la cosechadora en 2.8 años se recuperaría la inversión.

**Cuadro 5.** Análisis comparativo.

	Cosecha manual (2 cuadrillas de 10 jimadores cada una)*	Cosechadora troceadora de agave (1 maquina)
Tiempo de cosecha (días/hectárea)	2	2
Costo (\$/hectárea)	\$ 10,000	\$ 7,229.6
* Tomando como referencia el costo de \$ 250 por jornal.		

### Segmentación de mercado y canales de comercialización

Aunque son los productores de agave quienes desarrollan el cultivo y al momento de la cosecha son los interesados en que ésta se realice para recuperar su inversión y obtener utilidades, no se recomienda la adquisición del sistema cosechadora - tractor a pequeños productores, dado los costos. A continuación se detalla la segmentación de mercado.

*Sector industrial:* la cosechadora va dirigida al sector agrícola, de manera particular a procesadores de agave, cuyo mercado más grande es la producción de tequila.

*Demográfico:* La cosechadora de agave va direccionada a un mercado nacional, principalmente los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Guanajuato y Tamaulipas que son los estados con mayor producción de agave.

*Equipamiento industrial:* las empresas deben ser aquellas que tengan y estén dispuestas a adquirir equipamiento de última generación.

*Actividad exportadora o importadora:* con más posibilidad de compra aquellas empresas que exporten sus productos, sin descartar totalmente a las empresas con mercados nacionales.

*Volumen de facturación y ventas:* con un volumen alto de producción y ventas e interesado en aumentarlo.

*Volumen de ventas:* si vende un alto volumen por temporadas o durante todo el año.

*Capital nacional o extranjero:* con un capital indistinto.

El mercado potencial más grande para la máquina es el de procesadores de tequila, el cual al mes de septiembre del 2017 contaba con 240 empresas [5].

En segundo lugar encontramos a la industria de la maquinaria agrícola, en el cual se estima un total de 20 empresas de esta índole entre las más importantes encontramos a; Arisa, Agco Corporation, Blanchet, Case IH, CNH de México, Constructora de Maquinaria Triunfo, Famaq, Inisa, Industrias Cabrera, John Deere, Massey Ferguson, Tecnomec Agrícola S.A., por mencionar

algunas. Otro mercado importante a considerar son los fabricantes de Jarabe de Agave e Inulina, como clientes potenciales para utilizar la cosechadora de Agave. Se estima que en México se cuenta con 18 plantas productoras a nivel nacional entre las que se encuentran; Aires de Campo, Agavex, Azteca Health, Agalife-Agave, Bustar Alimentos, entre otras.

En cuanto a los canales de comercialización lo más conveniente para la cosechadora de agave serían los canales cortos por ejemplo; Promoción directa con los clientes potenciales. Un convenio con el *Consejo Regulador del Tequila*, para comercializarla con las 240 empresas productoras se recomienda como mejor opción.

Fabricante de maquinaria ☞ productores de tequila.

## Conclusiones

La cosechadora troceadora de agave permite con un ahorro de \$2,277 por hectárea cosechada en las mismas condiciones que el proceso de *Jima* tradicional.

La máquina tiene un segmento de mercado potencial bien identificado lo suficientemente grande como para respaldar su creación comercial. Dado que se contemplan un total de 278 clientes potenciales y no existe una máquina que cubra esta misma necesidad.

Se estima una demanda de 124 máquinas anuales y cuyo canal de comercialización sea directo entre los fabricantes de la cosechadora y los procesadores de agave.

Dado lo anterior la cosechadora troceadora de agave se considera viable en lo económico y comercial.

## Referencias

- [1] (SIAP) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Gobernación, <https://www.gob.mx/siap/>
- [2] (CNIT) Cámara Nacional de la Industria Tequilera, [www.tequileros.org](http://www.tequileros.org)
- [3] V.C. GUTIÉRREZ, R. SERWATOWSKI, S. J. M. CABRERA, R. N. SALDAÑA, FLORES O. A., R. AL. SALDAÑA, B. P. A. ALATORRE (2016). Máquina Cosechadora Troceadora de Agave. Solicitud de Patente: MX/a/2016/005655.
- [4] The global potential for Agave as a biofuel feedstock. GCB Bioenergy vol. 3, 68–78, 2011. doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01077.
- [5] (CRT) Consejo Regulador del Tequila, <https://www.crt.org.mx/>
- [6] G. K. WHITNEY, T. S. LIOUTAS, L. W. HENDERSON, L. COMBS. Production for tequila. US Patent Application Publication. 2002/0119217. August 29. 2002.
- [7] G. R. MUÑIZ. Canales de distribución. Marketing en el siglo XXI. 5ª Edición. Editorial CEF. España 2016.
- [9] J. A. M. HOLTUM, D. CHAMBERS, T. MORGAN and D. K. Y. TAN. Agave as a biofuel feedstock in Australia. GCB Bioenergy, 3: 58–67. 2011. doi:10.1111/j.1757-1707.2010.01083.x



# Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café

## Effect of temperature on the speed of coffee roasting

María Cristina Porras-Zúñiga<sup>1</sup>, Guillermo Vargas-Elías<sup>2</sup>, Linda Araúz-Madrid<sup>3</sup>, Yailyn N. Abarca-Alpizar<sup>4</sup>

---

Porras-Zúñiga, M; Vargas-Elías, G; Araúz-Madrid, L; Abarca-Alpizar, Y. Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril, 2019. Pág 20-27.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4255>

- 1 Estudiante de Ingeniera de Agrícola y de Biosistemas. Universidad de Costa Rica (UCR). San José, Costa Rica. Correo electrónico: maria.porraszuniga@ucr.ac.cr
- 2 Ingeniero Agrícola. D.Sc. Profesor, CIGRAS, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: gvargase@gmail.com
- 3 Ingeniera Agrónoma. Estudiante de Maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: lindaarauz10@gmail.com.
- 4 Estudiante de Agronomía. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Correo electrónico: abarcaalpizar.98@gmail.com



## Palabras clave

Torrefacción; Café arábica; Proceso; Energía de activación; Abertura de gas; Calidad; Calentamiento.

## Resumen

El tostado es un proceso que genera cambios importantes en las propiedades físicas, químicas y sensoriales del café. La producción de café tostado está relacionada con la temperatura del tostador, el tiempo y la cantidad utilizada de café. La temperatura es un parámetro poco estudiado y tiene potencial para asociarlo a los cambios físicos y químicos. El objetivo es determinar el efecto de la temperatura del tostador en la rapidez del tueste de los granos. Se utilizaron granos de café (*Coffea arabica*) de la Zona de los Santos (Costa Rica), con un análisis sensorial de 80 puntos, empleando un tostador convencional con cilindro horizontal rotativo. Se fijaron tres posiciones de la válvula de gas para establecer diversas condiciones de operación en el tostador. Se utilizaron 5 muestras de 600 g para cada condición del tostador. Se determinó el final del tueste con las temperaturas de 215, 220, 225, 230 y 235 °C. El aumento de la temperatura en dichas condiciones fue lineal, con coeficiente de determinación mayor que 93 %, cuya pendiente representa la rapidez del calentamiento del aire interno del tostador. La rapidez del calentamiento en los granos fue asociada a la temperatura de equilibrio del tostador por el modelo de Arrhenius, se determinó la energía de activación en 21,6 kJ/mol. El aumento del consumo de gas genera mayor rapidez en el calentamiento del tostador, de los granos y del aire.

## Keywords

Roasting; Arabica Coffee; Activation Energy; Gas opening; Quality; Heating.

## Abstract

The roasting process produce some important changes in physical, chemical and sensory properties of coffee. The production of roasting coffee is related with the temperature of the roaster, the time and the quantity. Temperature is the less studied parameter; however, it has an important potential to associate it with physical and chemical changes. The objective of the investigation is to establish the effect of temperature of roasting in the speed of roasting of grains. There were used coffee grains (*Coffea arabica*) from Zona de Los Santos (Costa Rica), with 80 points of sensory analysis, using a horizontal rotary cylinder. There were set three positions of the gas valve to have different conditions of the operation of roasting. They were used five samples of 600 g for every condition of roasting. The final roasting was determinated with the temperature of 215, 220, 225, 230 and 235 °C. The increase of temperature in those conditions was linear with a coefficient of determination higher than 93% and the slope represent the speed of internal air heating. The speed of heating was related with the balance temperature of the toaster through the Arrhenius Model. It was determinated the activation energy in: 21.6 kJ/mol. The increase of gas consumption generates a higher speed in the heating of toaster, grains and the air.

## Introducción

La estrategia de Costa Rica de producir café de alta calidad ha logrado alcanzar los mercados finos de café en el mundo. Según el Instituto de Café de Costa Rica [1], durante las últimas

cosechas se ha presentado un incremento en la producción de café a nivel nacional, resaltando los cantones de la Zona de los Santos en la provincia de San José.

La calidad sensorial del café afecta directamente el precio de la materia prima, donde el país exporta el 99 % en café crudo y apenas el 1 % como café tostado. El café tostado se limita al mercado para consumo interno, lo cual debe orientarse a mejorar el proceso para garantizar la comercialización de un producto de mayor valor económico y no solamente como café beneficiado [2].

La torrefacción es el proceso final que afecta directamente la calidad de la bebida del café tostado, donde se puede optimizar los aromas, la acidez y la dulzura; pero si no se realiza adecuadamente puede degradar su la calidad sensorial.

El proceso de torrefacción de café consiste en la aplicación de calor del tostador hacia los granos de café crudos. Sin embargo, la importancia de tal proceso radica en el control de la temperatura en el momento justo; puesto que, de ello depende la liberación de los aromas y la coloración homogénea de los granos [3].

La velocidad del proceso de torrefacción se ha clasificado según Clarke & Macrae [4] en tostado rápido en pocos minutos, tostado convencional de 12 a 15 min, tostado intermedio de 5 a 8 min, se puede ver en la coloración externa del grano, en términos de Claro, Medio y Oscuro.

El tostador convencional fue estudiado por Abarca [5], se estableció la relación entre la temperatura de la pared interna del cilindro y la temperatura de la masa de los granos, con un coeficiente de correlación de 94,44 %, para todo el proceso de torrefacción.

Se determinó que la temperatura del sistema registrada por un termopar en contacto con el aire interno presentó una relación directa con la temperatura final de los granos; por lo tanto, es uno de los principales parámetros tanto para registrar como para controlar el proceso [5].

El grado de tueste es importante para determinar las características de sabor de los extractos que se elaboran posteriormente a partir del café tostado, en los que el grado de tueste y velocidad de tueste, están asociados a los llamados cafés de alta calidad [4].

El tostador convencional fue objeto de estudio para analizar el efecto de la temperatura del tostador sobre la rapidez del proceso [6] y el efecto de la masa en el tiempo de tueste [5], se puede inferir a partir de estos estudios que a partir del 40% del tiempo de tueste los granos calientan linealmente. Por ende, el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la temperatura del tostador en la rapidez del tueste de los granos, lo cual se mide por medio del control de la apertura de la llave de paso de gas.

## Metodología

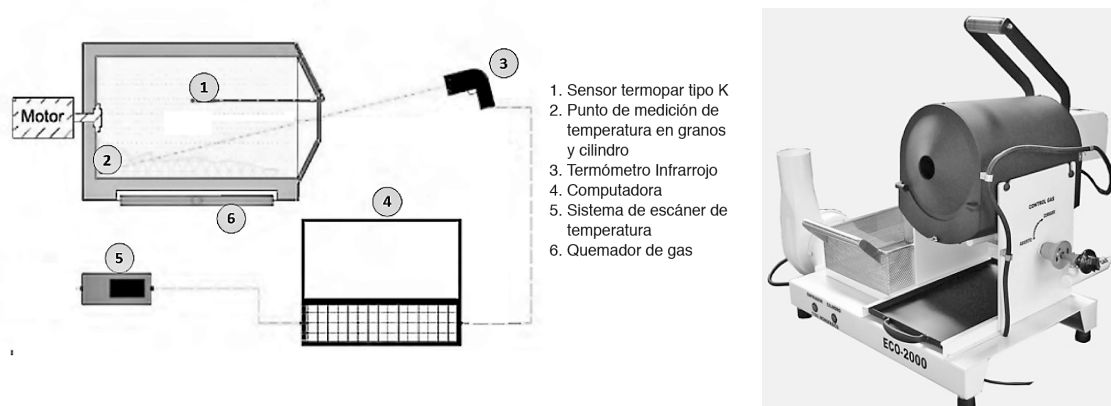
Las pruebas se realizaron en el Centro de Investigaciones de Granos y Semillas (CIGRAS) de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica. Se utilizó granos de café, *Coffea arabica* L. variedad *Typica*, cultivados y cosechados en Providencia de Dota en la Zona de los Santos a una altura de 2 000 msnm. Fue descascarado con un proceso de semi lavado de miel y secado durante 12 días con una temperatura máxima de 45 °C por CoopeDota R.L, presentando un análisis sensorial de 80 puntos. El contenido de humedad inicial del café es de 10,67 % b.h., determinado con el promedio de tres repeticiones mediante el horno de convección forzada a 105 °C en 5 g durante 24 h.

Se utilizó 9,0 kg de café beneficiado separado en 15 sub muestras de 600,0 g. El proceso de torrefacción de las sub-muestras se realizó en tostador convencional de construcción nacional, con capacidad máxima de 2 000 g. El combustible fue gas propano que se reguló a través de

una válvula y se utilizó tres posiciones para controlar la llama, con el fin de generar distintas condiciones de operación en el tostador.

Para el sistema de adquisición de datos, se utilizó un escáner de 12 canales de temperatura marca Cole-Parmer Instrument Company, con sensores termopar tipo K, para medir la temperatura del ambiente dentro del cilindro. Los datos son enviados mediante un cable serial con conexión al puerto de la computadora el cual cuenta con un software de interface llamado ScanLink en su versión 2.0. La temperatura tanto del grano como del cilindro rotativo, se midió con un termómetro infrarrojo PCE889B marca General® que cuenta con una resolución de 0,1 °C proporcionando lecturas cada 0,5 s con una precisión de ±1 %.

La temperatura interna del tostador fue el indicador de la temperatura de los granos en equilibrio con el sistema, se determinó el final del proceso de tueste en los granos en 215, 220, 225, 230 y 235 °C, a través de un termopar tipo K. Según se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema de registro de temperaturas en tostador convencional de quema a gas (BENDIG, modelo ECO-2000) [5].

El modelo matemático para la cinética del calentamiento de los granos en función de la temperatura del tostador es similar al utilizado para la cinética de pérdida de masa del café durante el tueste [7], descrito en la ecuación 1.

$$\frac{dT}{dt} = E_0 \cdot e^{\left(\frac{-E_a}{R_g \cdot T_a}\right)} \quad (1)$$

$T$  es la temperatura de los granos tostados, °C.

$t$  es el tiempo de proceso, min.

$E_0$  es el factor pre-exponencial, °C min<sup>-1</sup>;

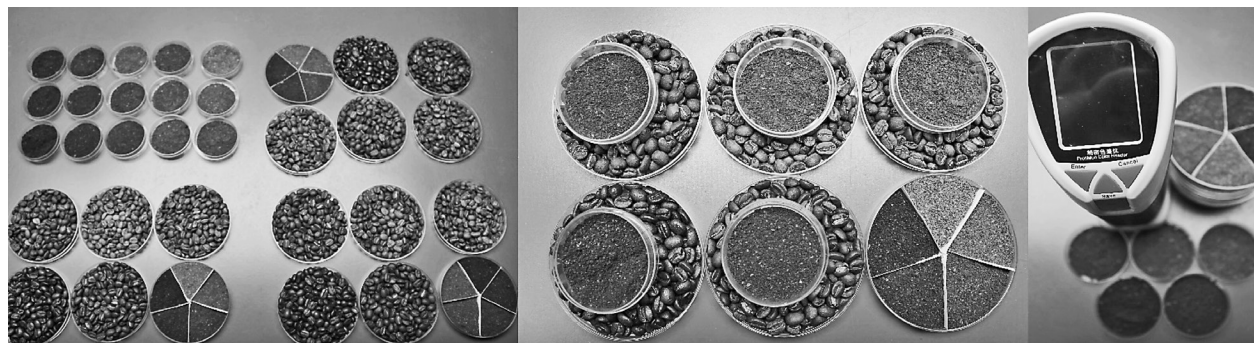
$E_a$  es la energía de activación, J mol<sup>-1</sup>;

$R_g$  es la constante de los gases, 8,3145 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>;

$T_a$  es la temperatura absoluta del tostador, K.

El color se midió en un colorímetro marca NANBEI modelo NBCS-210, para obtener los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en muestras de café molido de 10 g, según la figura 2.

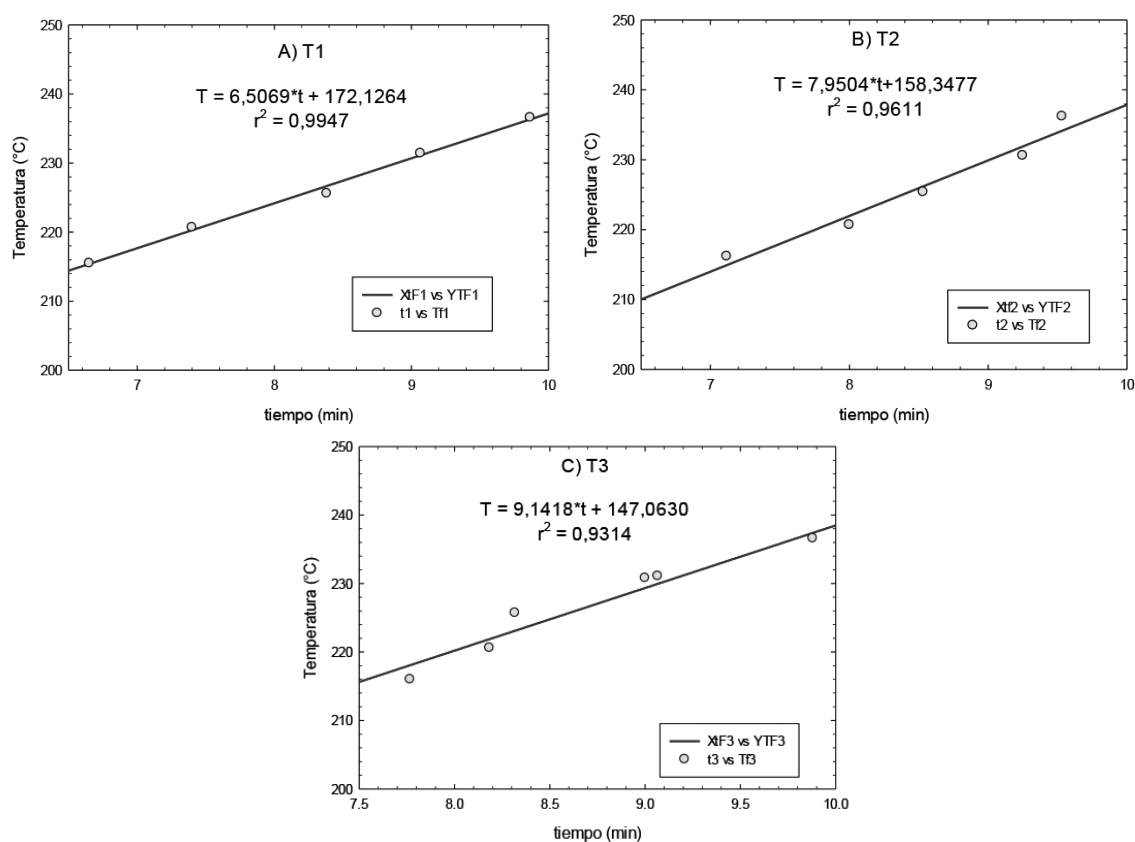




**Figura 2.** Medición del color en el café tostado y molido.

## Resultados y discusión

El calentamiento de los granos es linealmente creciente durante el tueste cuando han superado los 210 °C y para el rango de temperaturas estudiado, según la figura 3.



**Figura 3.** Calentamiento de los granos durante el proceso de tueste.

La temperatura del tostador tiene un efecto directo sobre la rapidez en que calientan los granos. La pendiente de la línea representa la rapidez del calentamiento del café. Cuando la

temperatura del tostador aumentó también aumentó la pendiente de la línea de calentamiento de los granos.

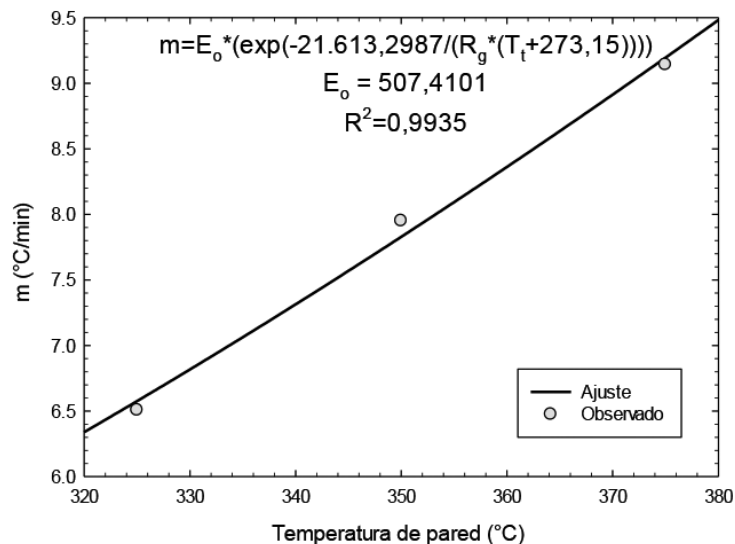
La abertura de la llave de gas generó diferencias en la rapidez del calentamiento del grano. Es decir; se puede aumentar el consumo de gas para disminuir el tiempo que tarda el calentamiento de los granos y también se puede aumentar el tiempo de tueste disminuyendo el consumo de gas, para tener más tiempo en llegar al nivel de tueste deseado en los granos.

Los valores de la pendiente y los de la temperatura del tostador deben ser transformados para obtener una línea recta según el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Parámetros térmicos del tostador para el tueste de granos de café.

Temperatura del tostador			Intersección	Pendiente	Ln (k)
Inicial (°C)	$T_i$ (K)	$T_i^{-1}(10^{-3} K^{-1})$	b (°C)	m (°C min <sup>-1</sup> )	(dec.)
325	598,15	1,67182	172,1264	6,5069	0,7568
350	623,15	1,60475	158,3477	7,9504	0,8809
375	648,15	1,54285	147,0630	9,1418	0,9618

La rapidez puede aumentarse en 40 % cuando se pasa de la abertura del gas en mínimo hasta el máximo. La ecuación de Arrhenius representó adecuadamente la influencia de la temperatura con coeficiente de determinación del 99,35%. Como se puede observar en la figura 4.



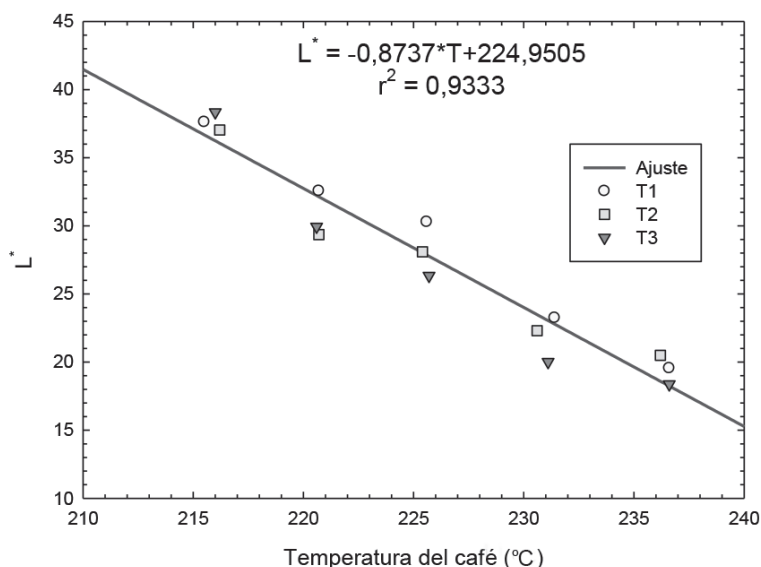
**Figura 4.** Relación entre la temperatura el tostador y rapidez del calentamiento en los granos.

La cinética del calentamiento de los granos tostados puede ajustarse con la ecuación 2 en función de la abertura de gas y determinando la temperatura de equilibrio del cilindro.

$$\frac{dT}{dt} = (507,4101) \cdot e^{\left[ \frac{-21,643,2987}{8,3145(273,15+T)} \right]} \quad (2)$$

La aplicación práctica de este trabajo es que se puede regular en tres posiciones la abertura del gas para máxima, intermedia y mínima y a partir de esas temperaturas se puede calcular la rapidez que gobernará el calentamiento de los granos, se puede calcular qué tan rápido es un proceso con respecto a otro.

El nivel de oscurecimiento en los granos se reflejó en la disminución del parámetro  $L^*$ , el cual presentó una relación lineal con respecto al calentamiento de los granos. En tuestes oscuros es necesario que el grano se caliente más. En la figura 5 se observa que el nivel de tueste de los granos se puede aproximar con la temperatura del sistema. Indistintamente de la temperatura de operación del tostador se puede alcanzar cualquier nivel de tueste en los granos, siempre que se mantengan constantes sus características físicas.



**Figura 5.** Relación entre nivel de oscurecimiento y temperatura de los granos.

La aproximación lineal de la temperatura y el color se ajustó con coeficiente de determinación de 93,3 %. La temperatura de 210 °C en los granos se obtiene un valor del parámetro  $L^*$  de 41,5 por extrapolación, lo cual puede asociarse a un grano pre tostado [8].

## Conclusión

La abertura del gas puede ser controlada para generar las condiciones idóneas de operación del tostador. La temperatura máxima de operación del tostador se debe conocer porque el sistema se equilibrará hasta esa condición con el tiempo. El efecto de la temperatura del tostador sobre la rapidez del calentamiento de los granos de café puede ser modelada matemáticamente por la ecuación de Arrhenius. La energía de activación para el calentamiento de los granos durante el tueste fue 21,6 kJ/mol. El aumento del consumo de gas genera mayor rapidez en el calentamiento del tostador, del aire y de los granos.

## Referencias

- [1] ICAFE. (2017) "Informe sobre actividad cafetalera de Costa Rica". San José, Costa Rica. pp.25-27.
- [2] Q. Puerta Q. "Calidad en taza de mezclas preparadas con granos Coffea arábica L. y C. canéfora". Canicafé, 2008. pp.183-203.
- [3] A. Illy and R. Viani. "Espresso Coffee": The Science of quality. San Diego, California, USA: Elsevier Academic Press, 2015.
- [4] R. J. Clarke & R. Macrae. "Coffee", Technology. Crown House, Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, England: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, 1987. Vol. 2.
- [5] R. Abarca. "Estudio del proceso de torrefacción del café (*Coffea arabica*) en tostador convencional" Tesis de Licenciatura. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2017.
- [6] G. Vargas-Elías. "Cinética do aquecimento, da expansão volumétrica e da perda de massa em grãos de café durante a torrefação". Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2014. p.68.
- [7] G. A. Vargas-Elías, C. Corrêa, Paulo, R. Souza, Natália, M. Fernanda. "Cinética da perda de massa do café arábica durante a Torração". Eng. Agríc. [on-line]. 2016, vol.36, n.2 [cited 2018-02-03], pp.300-308. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162016000200300](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000200300)
- [8] C.O, Argote and J. Ponce. "Sistema automatizado para controlar la temperatura y el tiempo en el proceso de tosti3n de caf3 en una m3quina de laboratorio" Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingenier3a, Universidad de Nariño, Colombia, 2014.



# Desarrollo de una herramienta espatadora de cebolla bulbo

## Development of a bulb onion topping tool

Claudia Patricia Pérez-Rodríguez<sup>1</sup>, Fanny Angélica Torres-Aya<sup>2</sup>, José Eduardo Naranjo-Castillo<sup>3</sup>, Alejandro Esteban Jaimes-Quiñones<sup>4</sup>, Ricardo Andrés Anzola-Rodríguez<sup>5</sup>

---

Pérez-Rodríguez, C; Torres-Aya, F; Naranjo-Castillo, J; Jaimes-Quiñones, A; Anzola-Rodríguez, R. Desarrollo de una herramienta espatadora de cebolla bulbo. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 28-35.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4256>

- 1 Ingeniera Agrícola. Máster en Ingeniería civil. Doctor Rerum Horticulturarum. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Correo electrónico: cpperezr@unal.edu.co
- 2 Ingeniera Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Correo electrónico: fatorresa@unal.edu.co
- 3 Diseñador Industrial. Especialista en proyectos de desarrollo. Máster en gestión de diseño y desarrollo de productos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Correo electrónico: jenaranjoc@unal.edu.co
- 4 Diseñador Industrial. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Correo electrónico: aejaimesq@unal.edu.co
- 5 Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Correo electrónico: raanzolar@unal.edu.co



## Palabras clave

Eficiencia; ergonomía; riesgo; calidad.

## Resumen

La cebolla bulbo, producto importante en la dieta de los Colombianos, presenta en Cundinamarca una producción anual de aproximadamente 53.497 toneladas; posterior a su cosecha es necesario eliminar pseudotallos y raíces, mediante un procedimiento denominado “espatado”. Dentro del subproyecto “Tecnologías y diseño o rediseño de productos que soportan el sistema de operación logística y distribución y desarrollo de un modelo en Bogotá y Cundinamarca”, se evidenció la necesidad de desarrollar una herramienta formal para el espatado de cebolla bulbo, que responda no solo a mejorar la efectividad del proceso y las condiciones ergonómicas, sino también disminuya el riesgo de accidentes laborales permitiendo una adecuada manipulación del producto que redunde en su calidad. Para el diseño de esta herramienta se integraron las disciplinas de la ingeniería agrícola y diseño industrial. La metodología del proceso incluyó la identificación de referentes y determinantes, definición de un concepto y la construcción de un modelo inicial validado en campo. Se vinculó al diseño final de la herramienta, la retroalimentación de los productores con el fin de dar una respuesta integral a sus necesidades. El uso de la herramienta redujo el tiempo para realizar la labor, pasando de 27,75 a 31,5 cebollas/minuto, se mejoró el agarre, facilitó la realización de la tarea, mejoró la postura y se disminuyó el riesgo de daño físico al producto.

## Keywords

Efficiency; ergonomics; risk; quality.

## Abstract

Bulb onion, an important product in the diet of Colombians, has an annual production of approximately 53,497 tons in Cundinamarca; after harvesting it is necessary to eliminate pseudostems and roots, by means of a procedure called “espatado”. Within the subproject “Technologies and design or redesign of products that support the logistics operation system and distribution and development of a model in Bogotá and Cundinamarca”, the need to develop a topping formal tool for bulb onion that responds not only to improve the effectiveness of the process and ergonomic conditions, but also reduce the risk of accidents at work allowing an adequate handling of the product that results in its quality was evident. For the design of this tool, the disciplines of agricultural engineering and industrial design were integrated. The methodology of the process included the identification of referents and determinants, definition of a concept and the construction of an initial model validated in the field. It was linked to the final design of the tool, the feedback of the producers in order to give an integral response to their needs. The use of the tool reduced the time to perform the task, going from 27.75 to 31.5 onions / minute, improved grip, facilitated the completion of the task, improved posture and decreased the risk of physical damage to the product.

## Introducción

Siendo la cebolla bulbo una de las principales hortalizas por su amplio consumo, diversidad, valor nutricional y generador de mano de obra, pues solo en Cundinamarca cuenta con un área sembrada de alrededor de 3783 ha y un rendimiento de 15.4 toneladas por hectárea [1], las

maneras culturales de realizar los procesos de cosecha y poscosecha perduran en el tiempo conservando sus ventajas y desventajas tanto para la salud ocupacional de los productores como para la calidad de los productos. Colombia requiere el desarrollo de herramientas e implementos adecuados a las necesidades de los productores de tal manera que se pueda ofrecer a ellos una solución asequible, desarrollada mediante un proceso en donde se sientan vinculados y por lo tanto puedan adoptar fácilmente las tecnologías propuestas y así mejorar, no solo la eficiencia de sus tareas, sino su calidad de vida al realizarlas.

La cosecha de este producto, así como el corte de hojas y raíces para su posterior almacenamiento se realiza manualmente, dicho proceso se denomina coloquialmente “espatado” en Colombia, “descolado” en Uruguay [2], “desmochado” en Chile [3] o “topping” en Norteamérica [4]. Para el contexto colombiano este proceso generalmente se efectúa con tijeras, cuchillo o herramientas afiladas. La vida comercial del producto y por lo tanto su calidad, se ven afectadas si éste se realiza incorrectamente, dado que quedan heridas y el cuello no termina de cerrarse adecuadamente, hecho que aumenta la susceptibilidad a los ataques por hongos, especialmente *Botrytis Aclada* [5] y bacterias, tomando en consideración además, que “las heridas y golpes producen ruptura de tejidos, lo que ocasiona mayor deshidratación” [3, p. 89], por otro lado el recolector es quién realiza la acción de corte, en posición sedente y con movimientos repetitivos que involucran al dedo pulgar y la fuerza que éste ejerce de afuera hacia adentro, en jornadas de 6 a 8 horas, lo cual perjudica su postura y desempeño físico; así mismo, las herramientas actualmente empleadas en este proceso, son adaptaciones de elementos como espátulas para aplicación de yesos, machetes o navajas, las cuales al no ser diseñadas para esta labor, representan un riesgo para el operario y para el producto pues afectan la inocuidad del mismo. Adicionalmente, se evidencia que con este tipo de herramientas se generan laceraciones en el dedo pulgar y el monte de venus ocasionado por el filo de la herramienta justo después de realizado el corte. Teniendo en cuenta lo anterior el presente artículo tiene como objetivo principal mostrar el desarrollo de una herramienta que permita el corte de pseudotallos y raíces de cebolla bulbo en las máximas condiciones de ergonomía, seguridad y efectividad, integrando tanto el uso de metodologías de la ingeniería agrícola y el diseño industrial, así como a la población afectada para los procesos de validación y comprobación del diseño desarrollado.

## **Materiales y métodos**

En primer lugar, se recolecta información en campo sobre las herramientas y formas de uso actuales para la realización del espatado, posteriormente se realiza una descripción de los determinantes y requerimientos para el proceso de diseño, a partir de los cuales se direcciona el desarrollo de concepto y las primeras alternativas propuestas, además de servir de soporte para verificar y validar los resultados en las etapas de diseño de detalle y arquitectura de producto.

Una vez definidos los requerimientos del diseño, se establece un concepto de diseño basado en tres ejes principales: Funcionalidad, uso y viabilidad, con las cuales se identificaron las principales características que debería tener la herramienta a desarrollar, soportada en vigilancia tecnológica y recolección de información primaria en unidades productivas.

Una vez definido el concepto se dio paso a la etapa de Bocetación inicial, en donde se generaron varias alternativas de las cuales se seleccionó una, la cual fue sometida a un proceso de evaluación, ajustes y render de aproximación, los cuales posteriormente permitieron la construcción de un prototipo físico inicial de baja resolución.

Ya con el modelo físico, se realizaron pruebas de campo con el objetivo de generar, por una parte, un análisis comparativo en cuanto al rendimiento de corte de la herramienta diseñada y la herramienta de uso común a través de formatos donde se registró el número de cebollas procesadas por minuto, y por otro lado, por fotografías y observación directa, un análisis ergonómico determinando las condiciones de usabilidad y la postura de las manos durante la realización de la tarea haciendo uso del método REBA (Rapid Entire Body Assessment)[6].

Las mediciones a realizar sobre las posturas adoptadas se basan en datos angulares (los ángulos que forman los diferentes miembros del cuerpo respecto a determinadas referencias). Estas mediciones se realizaron sobre el Grupo B, establecido por el método REBA (ver cuadro 1) que comprende los miembros superiores (brazos, antebrazos y muñecas), con el fin de comparar el esfuerzo usado por el continuo movimiento del hombro y la muñeca durante el uso de la herramienta actual y la desarrollada, e identificar con cual herramienta se ejerce menor esfuerzo. El valor final proporcionado por el método REBA es proporcional al riesgo que conlleva la realización de la tarea, de forma que valores altos indican un mayor riesgo de aparición de lesiones músculo esqueléticas [6].

**Cuadro 1.** Puntuación del Grupo B por postura. Método REBA [6].

Postura/rango	Puntaje	Total: Izq. / Der.	
Brazos – Hombros		IZQ:	DER: 4+1+1
Flexión: 0-20° Extensión: 0-20°	1	Brazo abducido: +1	
Flexión: 20-45° Extensión: >20°	2		
Flexión: 45-90°	3	Elevación de hombro: +1	
Flexión: >90°	4	Brazo apoyado: -1	
Brazos – Codos		IZQ:	DER:
Flexión: 60-100°	1	Sin ajustes	
Flexión: <60° Flexión: >100°	2		
Muñecas		IZQ: 1+1	DER: 1+1
Flexión: 0-15° Extensión: 0-15°	1	Muñecas desviadas o rotadas: +1	
Flexión: >15° Extensión: >15°	2		

Finalmente, con base en las validaciones, las observaciones y los resultados obtenidos, se realizaron los ajustes correspondientes y la generación del diseño y prototipo físico final, la metodología utilizada se basó en el proceso de diseño propuesto por Mohd Tamrin, Mohd Yusoff, Mat said, Ng, & Mori [7, p. 2]

## Resultados y discusión

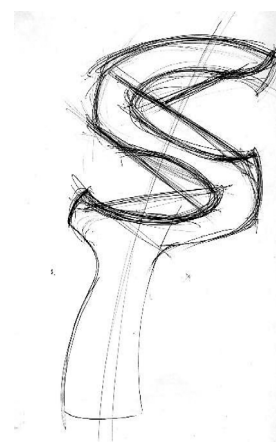
El proceso de vigilancia tecnológica, identificó que en la actualidad la remoción de los pseudotallos y raíces se realiza principalmente con tijeras de mano, recortando las hojas superiores a 2 cm arriba del bulbo [8], cuchillos evitando dañar el bulbo [3] o tornillos sin fin

horizontales y alineados como una forma mecanizada, maquinaria para la cual se identificó un alto riesgo de daño para el producto, especialmente para las cebollas recién cosechadas [2]; teniendo en cuenta el hecho de que la mayoría de cebolla que se produce en Colombia se comercializa en fresco, sin ser sometida a procesos de curado [9], y las observaciones y requerimientos establecidos por los operarios que trabajan en cultivos de este producto, figura 1, se establecen como determinantes y requerimientos que integran el concepto de diseño final de la herramienta el permitir un corte limpio y fácil, disminuir los riesgos de cortes en miembros superiores, ser ergonómica y permitir que las piezas fueran desmontables para poder intercambiarlas en caso de daño por rotura o desgaste.

La segunda etapa del diseño involucró la realización de bocetos iniciales como se observan en la figura 2, en donde se propone una variante del cuchillo o espátula que se usa actualmente para el espatado de cebolla, pero que presentara un mango para un agarre cómodo y un cuerpo que permitiera la inserción de las cuchillas, una para el corte de las hojas y pseudotallos superiores y otra para el corte de las raíces, evitando los riesgos laborales para el operario, subsecuentemente se dio paso al modelado haciendo uso del programa Solid Works y la generación del render que se observa en la figura 3 haciendo uso del software KeyShot, con el cual se generó el archivo para la impresión 3D de la herramienta en poliacido láctico (PLA), obteniendo así el primer prototipo inicial de baja resolución tal y como se observa en la figura 4.



**Figura 1.** Uso de cuchillo para la realización del espatado de cebolla en Ubaté, Cundinamarca



**Figura 2.** Bocetación inicial de la herramienta



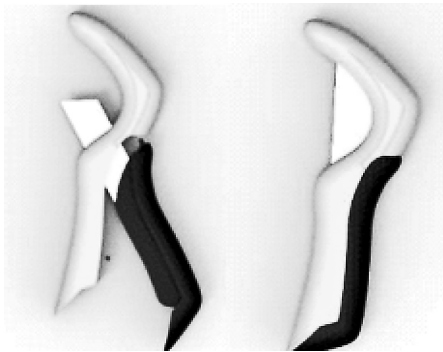
**Figura 3.** Render de aproximación



**Figura 4.** Prototipo inicial de baja resolución



Con el prototipo inicial de baja resolución se realizaron las pruebas en campo tomando como muestra 2 hombres y 2 mujeres, a quienes se les registró el número de cebollas procesadas por minuto con el cuchillo tradicional y el número de cebollas procesadas por minuto con la herramienta propuesta obteniendo una media de 27.75 y 18.25 cebollas por minuto respectivamente, la retroalimentación por parte de los operarios evidenció que una segunda cuchilla disminuía la eficiencia del proceso por lo que era necesario eliminarla y ajustar nuevamente el diseño. Después de la comprobación en campo se generó un segundo diseño, modelado y posteriormente renderizado como se observa en la figura 5, se generó el modelo de comprobación final (figura 6) y se realizaron nuevamente comprobaciones en campo (figura 7), el análisis de los datos de la herramienta ajustada, indica que con el uso de la herramienta habitual, los trabajadores cortan en promedio 27,75 cebollas por minuto, mientras con la herramienta diseñada el rendimiento fue de 31,5 cebollas por minuto.



**Figura 5** Render diseño final





**Figura 6.** Prototipo físico final.



**Figura 7.** Corte con herramienta propuesta (Espatadora) en cebolla de bulbo.

Para el análisis ergonómico se tuvieron en consideración las posturas del brazo, antebrazo y muñeca, haciendo una comparación entre el uso de la herramienta actual y el uso de la herramienta diseñada como se observa en el cuadro 2 y en la figura 8 y figura 9.

**Cuadro 2.** Brazo. Postura anterior al corte. Espatadora de cebolla.

Herramienta actual. Postura 1. Brazo	Herramienta propuesta. Postura 2. Brazo
 <p data-bbox="407 1850 656 1881">Ángulos: 56 ° - 304 °</p> <p data-bbox="321 1917 704 1978"><b>Figura 8.</b> Flexión entre 45 y 90°. Brazo abducido Puntuación 4 .</p>	 <p data-bbox="980 1850 1187 1881">Ángulos: 25 ° - 335 °</p> <p data-bbox="938 1917 1321 1978"><b>Figura 9.</b> Flexión entre 20 y 45°. Brazo abducido Puntuación 3.</p>

Teniendo en cuenta que la acción de cortar, cuando constituye un movimiento repetitivo, puede generar lesiones músculo esqueléticas en el trabajador/a expuesto [10, p. 32], se evidencia que los resultados obtenidos y consignados en el cuadro 3, indican que para la herramienta actual la calificación del método arrojó un puntaje mayor en las dos posiciones evaluadas, lo cual se traduce en un mayor riesgo de lesiones principalmente en la muñeca y una afectación constante en cada movimiento de corte, principalmente en el hombro.

**Cuadro 3.** Resultados comparativos Grupo B. Espatadora de cebolla.

Posicionamiento de herramienta para corte	Sumatoria	Posicionamiento de herramienta para corte	Sumatoria
Postura alistamiento para corte		Postura Corte o cizallamiento	
Herramienta actual	9	Herramienta actual	7
Herramienta propuesta	7	Herramienta propuesta	6

## Conclusiones

El diseño propuesto cumple a cabalidad los requerimientos y determinantes del concepto establecido, presenta dos mejoras considerables. La primera, disminución del riesgo de lesiones en las manos, producto de la utilización de tijeras o herramientas cortantes en labores de cosecha [10]. Esto gracias a que la cuchilla está protegida por una estructura en cuya forma puede reposar la yema del dedo pulgar en el momento final del corte, tiene un asa ergonómica y evita el deslizamiento de la cuchilla prolongando la protección hasta el monte de venus en todos los momentos del corte. La segunda, disminución del riesgo de lesiones músculo esqueléticas al disminuir el ángulo de movimiento del hombro entre los cambios de postura y la necesidad de giro de la muñeca al momento del corte. Finalmente, la herramienta asegura un corte limpio de los pseudotallos y raíces de la cebolla bulbo, evitando el daño de los cuellos durante el espate, disminuyendo su susceptibilidad a la infección por putrefacción del cuello y su consecuente deshidratación, conservando así los atributos de calidad durante el almacenamiento y la comercialización.

## Referencias

- [1] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Encuesta Nacional Agropecuaria ENA," Bogotá D.C, Colombia, 2016.
- [2] S. Carballo, *Poscosecha de cebolla en Uruguay*. Las brujas, Uruguay: INIA, 2005.
- [3] C. Blanco M, "Manual de producción de cebolla." Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile, p. 104, 2017.
- [4] P. J. Wright, D. G. Grant, and C. M. Triggs, "Effects of onion (*Allium cepa*) plant maturity at harvest and method of topping on bulb quality and incidence of rots in storage," *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.*, vol. 29, no. 2, pp. 85–91, 2001.
- [5] J. Köhl, W. M. L. Molhoek, and N. J. Fokkema, "Biological Control of Onion Neck Rot (*Botrytis aclada*): Protection of Wounds Made by Leaf Topping," *Biocontrol Sci. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 261–269, 1991.
- [6] S. Hignett and L. McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)," *Appl. Ergon.*, vol. 31, no. 2, pp. 201–205, 2000.

- [7] S. B. Mohd Tamrin, I. S. Mohd Yusoff, A. Mat said, Y. G. Ng, and I. Mori, "Developing low cost harvesting tool using Ergonomics Concept for Oil Palm Fresh Fruit Bunch Harvesters in Malaysia : A case study," *Proc. 19th Trienn. Congr. IEA*, no. August, pp. 1–8, 2015.
- [8] P. J. Wright and D. G. Grant, "Effects of cultural practices at harvest on onion bulb quality and incidence of rots in storage," *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.*, vol. 25, no. 4, pp. 353–358, 1997.
- [9] Sena, Corpoica, Universidad Nacional de Colombia, FNFH, and Asohofrucol, "Curado y almacenamiento de cebolla de bulbo," BOGOTA D.C., 2006.
- [10] R. Cabello Quezada, "Manual de Prevención de Riesgos en Labores de Cosecha y Embalaje de Frutas de Exportación." OTIC AGROCAP, Capacitación silvoagropecuaria, Santiago, Chile, p. 99, 2015.

# Análise do comportamento espectral da água do Rio Doce, Brasil, mediante o rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO

## Analysis of the spectral behavior of the water of the Doce river, Brazil, through the rupture of the sediment dam of SAMARCO

Laura Thebit-Almeida<sup>1</sup>, Felipe Bernardes-Silva<sup>2</sup>, Micael de Souza-Fraga<sup>3</sup>, Rayssa Balieiro-Ribeiro<sup>4</sup>, Maria Camila Alves-Ramos<sup>5</sup>, Roberto Avelino-Cecílio<sup>6</sup>

---

Thebit-Almeida, L; Bernardes-Silva, F; Souza-Fraga, M; Balieiro-Ribeiro, R; Alves-Ramos, M.C; Avelino-Cecílio, R. Análise do comportamento espectral da água do Rio Doce, Brasil, mediante o rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO. *Tecnologia em Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 36-42.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4257>

- 1 Estudante de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Brasil. Correio eletrônico: l.thebit@gmail.com,
- 2 Estudante de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Brasil. Correio eletrônico: felipe.bernardes.ufv@gmail.com
- 3 Estudante de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Brasil. Correio eletrônico: micaelfraga@gmail.com
- 4 Estudante de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Brasil. Correio eletrônico: rayssabalieiro@gmail.com
- 5 Estudante de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Brasil. Correio eletrônico: mcamilaaramos@gmail.com
- 6 Professor. Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. Correio eletrônico: roberto.cecilio@ufes.br



## Palavras-chave

Reflectância; Turbidez; Sensoriamento Remoto.

## Keywords

Reflectance, Turbidity, Remote Sensing.

## Resumo

A Barragem de Fundão, localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Brasil, destinava-se ao acúmulo de sedimentos das atividades de extração de minério de ferro da empresa SAMARCO. Esta barragem rompeu-se no dia 5 de novembro de 2015, causando enorme desastre ambiental em todos os cursos d'água à jusante, até atingir o Oceano Atlântico. A lama de rejeitos atingiu o Rio Doce e alterou a qualidade da água para captação e consumo em diversos municípios, sendo um desses o de Governador Valadares (MG). Sabe-se que, dentro das aplicações do sensoriamento remoto para a engenharia, a análise visual e do comportamento espectral dos alvos auxilia a tomada de decisão para a recuperação e o manejo de bacias hidrográficas. Desta forma, analisou-se o comportamento espectral da água e do NDWI (Normalized Difference Water Index) de seis imagens do Landsat 8 para o município de Governador Valadares, sendo duas antes e quatro após o rompimento da barragem (datas 05/08/2014; 25/09/2015; 12/11/2015, 16/02/2016; 10/08/2016 e 10/06/2017). Em escala de 0-1, o pico de reflectância da água antes do ocorrido (05/08/2014) era da banda do verde, de 0,048. A imagem referente ao dia 12/11/2015, logo após o rompimento, apresentou maior reflectância em todas as bandas, com maior pico na infravermelho próximo (0,48), banda esta correspondente à resposta dos alvos sólidos suspensos na água e vegetação, bem como elevação do NDWI. A reflectância foi reduzida após 8 meses do desastre, entretanto em nenhuma data analisada o comportamento espectral equivaleu-se ao observado antes do desastre ambiental.

## Introdução

A bacia do Rio Doce está localizada na região Sudeste do Brasil, com área de drenagem de 83.465 km<sup>2</sup>, sendo que 86% encontra-se no estado de Minas Gerais (MG) e 14% no Espírito Santo (ES)[1]. O regime do Rio Doce, é caracterizado por alternância entre cheias de verão e vazantes acentuadas na estiagem. O clima no interior da bacia é considerado tropical úmido [2], com início da estação chuvosa em novembro [1].

O vale do Rio Doce começou a fazer parte da temática “emancipação nacional” a partir da Revolução de 1930. Em que foi considerado estratégico para a industrialização, com instalação de ferrovias, rodovias, siderúrgicas e, principalmente, empresas mineradoras [1]. Uma das atividades que promoveu mudanças no uso do solo e, conseqüentemente, na qualidade da água do Rio Doce foi a mineração. O impacto dessa atividade é relacionado, num primeiro momento, com desmatamento para abertura das minas e, posteriormente, com o descarte dos rejeitos, que, comumente são direcionados para barragens.

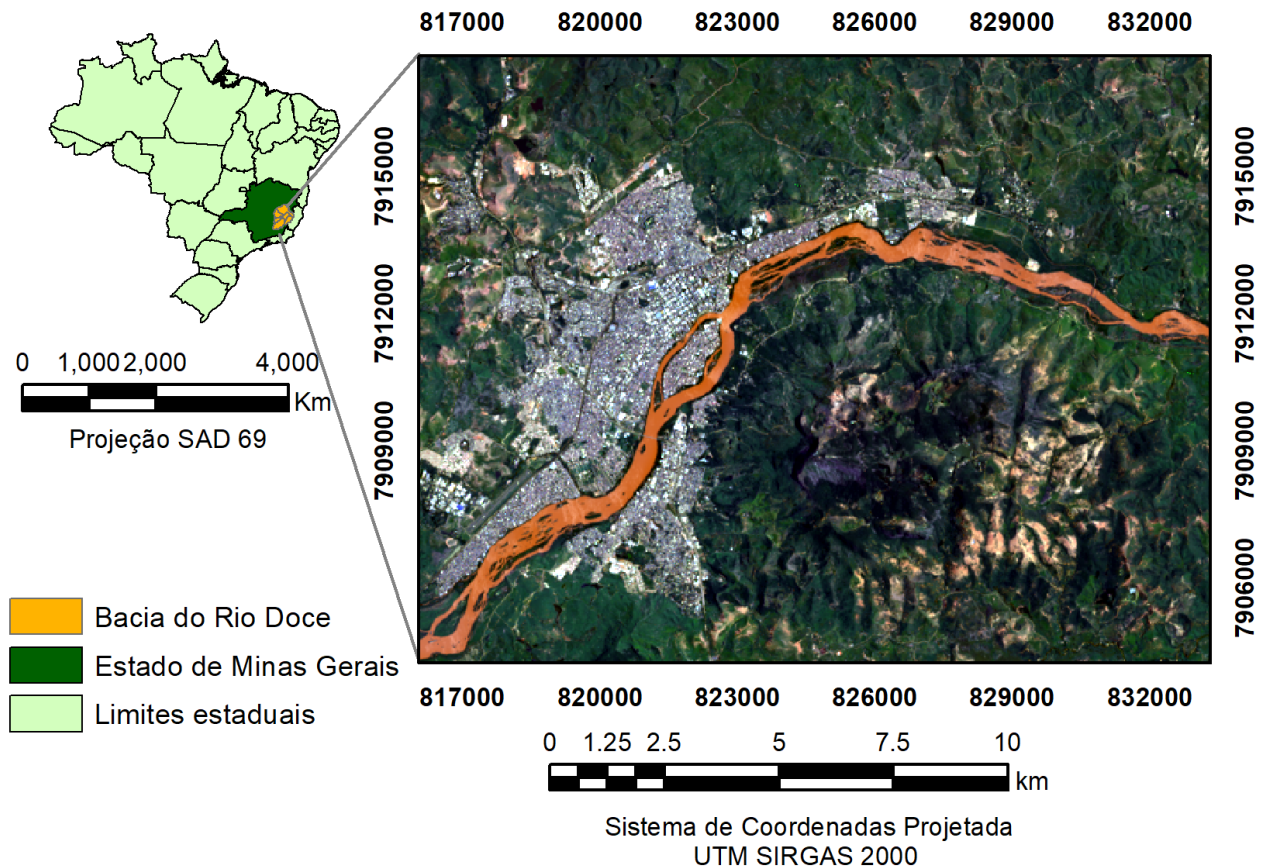
A barragem de Fundão era uma barragem de sedimentos proveniente da extração de minério de ferro, pertencente a empresa SAMARCO, localizada na cidade de Mariana, Minas Gerais, inserida na Bacia do Rio Doce. Seu rompimento, ocorrido no dia 5 de novembro de 2015, promoveu enorme desastre ambiental devido a sua pluma de rejeitos. A lama alastrou 663 km nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce até chegar na foz do último, onde adentrou 80 km<sup>2</sup> ao mar [1], [3].



Os sólidos suspensos que se espalharam pelo rio promoveram aumento na turbidez da água e sua contaminação, afetando a captação em diversos municípios, tais como Governador Valadares (MG) e Colatina (ES) [3]. A contaminação da água e redução da luminosidade é prejudicial à vida aquática, prejudicando diversas espécies, principalmente pela redução do oxigênio disponível. Diante desse cenário, o sensoriamento remoto surge como uma possível forma de complementação dos programas de monitoramento de qualidade da água e estudos hidrológicos [4] [5], auxiliando na tomada de decisão para a recuperação e o manejo de uma bacia hidrográfica.

Sedimentos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes, matéria orgânica dissolvida e as moléculas de água, em si, são os principais agentes que regem as propriedades ópticas inerentes da água e, portanto, são chamados de constituintes opticamente ativos [6]. Este conhecimento aliado ao desenvolvimento de sensores, capazes de registrar com detalhe as propriedades espectrais dos alvos na superfície terrestre, e de métodos de análise, que permitem a extração de informações cada vez mais específicas e precisas, têm aperfeiçoado o estudo da composição da água por meio de técnicas de sensoriamento remoto [7].

Desta forma, o intuito deste trabalho foi obter e analisar, por imagem do satélite Landsat 8, o comportamento espectral da água do Rio Doce, no município de Governador Valadares, antes e após o desastre do rompimento da barragem de sedimento de Fundão até o ano de 2017.



**Figura 1.** Localização do Rio Doce no município de Governador Valadares -MG/Brasil.

## Metodologia

Para o desenvolvimento do estudo foram obtidas imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI, do Rio Doce na região do município de Governador Valadares-MG (figura 1). Duas imagens referentes aos dias 05/08/2014 e 25/09/2015, antecedentes ao desastre, e quatro imagens, referentes aos dias 12/11/2015, 16/02/2016, 10/08/2016 e 10/06/2017, posteriores ao mesmo. Tais imagens foram adquiridas gratuitamente na plataforma online United States Geological Service (USGS), com correção atmosférica e reflectância da superfície. O procedimento de projeção das imagens para sistema de projeção UTM Sirgas 2000, zona 23S se deu no software ArcGis 10.5.1. Em seguida, na plataforma Spring 5.1 do INPE, foram coletados dados dos números digitais de cada imagem, sobre os mesmos pontos, nas bandas: 1 – Aerosol Costeiro (0.433–0.453  $\mu\text{m}$ ), 2- Azul (0.450–0.515  $\mu\text{m}$ ), 3-Verde (0.525–0.600  $\mu\text{m}$ ), 4-Vermelho (0.630–0.680  $\mu\text{m}$ ), 5 – Infravermelho próximo (0.845–0.885  $\mu\text{m}$ ), 6 – Infravermelho de Ondas Curtas1 (1.560–1.660  $\mu\text{m}$ ) e 7- Infravermelho de Ondas Curtas 2 (2.100–2.300  $\mu\text{m}$ ).

O índice analisado no estudo foi o NDWI (Normalized Difference Water Index), de acordo com a equação proposta por Gao (1996). Para tanto, utilizou-se o comprimento de onda que se refere a banda do Infravermelho Próximo (NIR) e da banda do Infravermelho de Ondas Curtas 1 (SWIR1), bandas 5 e 6, respectivamente.

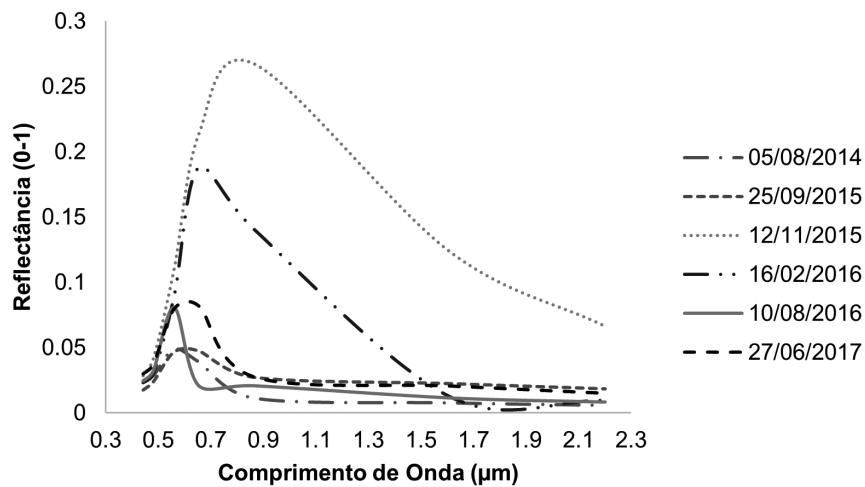
## Resultados e discussão

Corpos d'água quando limpos e profundos apresentam alta absorção em quase todos os comprimentos de onda, com exceção apenas de um pico próximo ao comprimento 0.500  $\mu\text{m}$ , referente às bandas do azul e do verde. As bandas 4 e 5 estão relacionadas à resposta espectral do vermelho (R) e ao NIR, e a banda 6 ao SWIR1. Na faixa do NIR a vegetação apresenta alta reflectância devido a sua estrutura, logo, corpos de água com alta reflectância na banda 5 apresentam excesso de algas devido, provavelmente, à eutrofização ou vegetação aquática. Água com elevado teor de sólidos suspensos refletem no R, NIR e SWIR1[8].

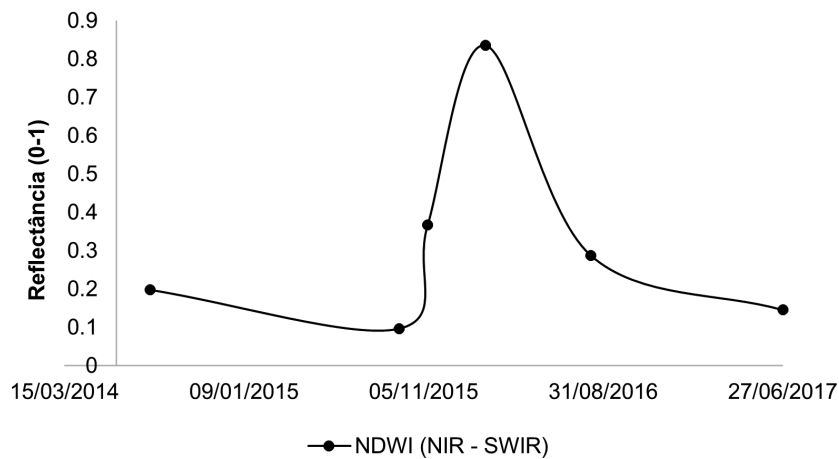
Observando a figura 2, a imagem referente ao dia 5/08/2014, anterior ao desastre, mostra que o comportamento espectral da água se aproxima mais das condições normais desse alvo, isto é, maior absorção e menor reflectância (pouca reflectância no comprimento de onda de 0,55  $\mu\text{m}$ , referente ao verde), indicando uma melhor qualidade da mesma, isto é, com menor quantidade de sólidos em suspensão que promovem aumento da reflectância. Esse comportamento pode ser definido como comportamento espectral real do Rio Doce no período seco, caracterizado pela decantação das partículas no leito do rio e baixa turbidez da água. No dia 25/09/2015, anterior ao desastre, a reflectância é superior em relação ao ano de 2014, o que pode ser devido ao fato de ter chovido anteriormente a aquisição da imagem. A ocorrência do escoamento superficial, que transporta sedimentos para o rio juntamente ao aumento do fluxo de correnteza, eleva a turbidez do curso e, conseqüentemente, sua reflectância.

A imagem correspondente ao dia 12/11/2015, posterior ao desastre, quando há alto teor de sólidos em suspensão na água, foi a que apresentou maior reflectância, principalmente no comprimento de onda do vermelho (0,66  $\mu\text{m}$ ) e do NIR (0,86  $\mu\text{m}$ ), sendo observado um aumento de cerca de 23 vezes em relação a imagem de 2014 para a reflectância da banda NIR. Isso indica elevação de partículas e aumento da turbidez da água. Em 16/02/2016, dois meses após o rompimento do barramento, houve redução pela metade da reflectância no NIR em comparação com o dia 12/11/2015. Em 10/08/2016, período seco, bem como 27/06/2017, a redução da reflectância é ainda maior, entretanto superior ao valor obtido para 2014, antes do rompimento da barragem de Fundão. Esse resultado mostra a recuperação da turbidez da água do rio ao longo do tempo.

Observa-se na figura 3, que o NDWI aumentou de 0,09 (25/09/2015) para 0,36 na data de 12/11/2015, logo em seguida ao desastre, apresentando pico máximo de 0,835 em 16/02/2016. Em 10/08/2016, é observado uma redução para 0,29, assim como em 27/06/2017 (0,14), voltando a um nível próximo ao anterior ao rompimento, nas datas de 05/08/2014 (0,19) e 25/09/2015 (0,06).



**Figura 2.** Comportamento espectral da água do Rio Doce.



**Figura 3.** NDWI da água do Rio Doce para diferentes datas.

A figura 4 apresenta todas as imagens obtidas da área de estudo em que as bandas 4, 3 e 2 estão representadas na cor real dos canais vermelho, verde e azul, respectivamente. Nos dias 12/11/2015 e 16/02/2015, a cor refletida pelo rio é na tonalidade marrom, corroborando com o que foi discutido anteriormente.

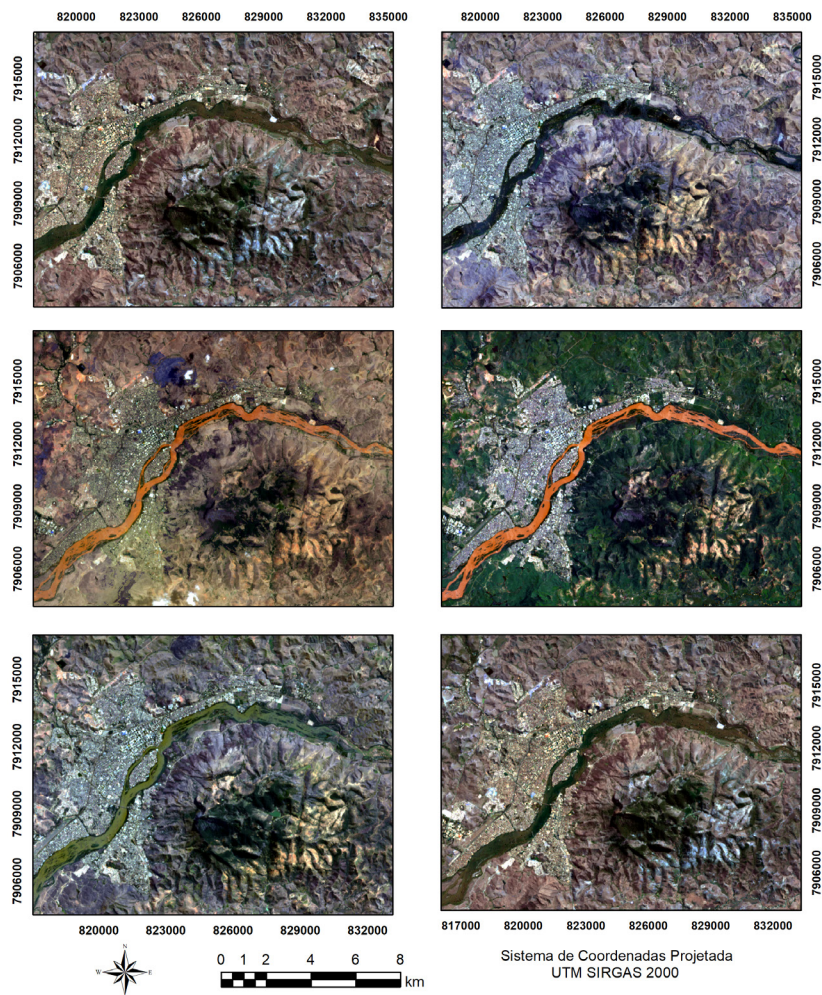
Nota-se que o desastre do rompimento da barragem de Fundão conduziu a um elevado teor de sedimentos e rejeitos de mineração para o Rio Doce na região de Governador Valadares. O comportamento espectral da água mostrou que houve elevada reflectância nas bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, o que se deve aos sólidos



em suspensão presentes na água, que reduzem a sua translucidez e absorbância. A redução da translucidez inibe a entrada de luz solar na água, bem como reduz a quantidade de oxigênio dissolvido, o que promoveu redução da vida aquática (figura 4).

As imagens mostram que após 9 meses do rompimento da barragem, o comportamento espectral da água estava próximo ao observado nas datas que antecedem esta ocorrência. Porém, em 2017, ainda se observa alta reflectância na banda do verde em comparação às imagens anteriores ao desastre, o que indica que ainda há uma maior concentração de sólidos em suspensão no Rio Doce, especificamente na cidade de Governador Valadares. Outro fato a ser levado em consideração é que não somente o retorno da translucidez do rio indica a recuperação do mesmo. Do material lançado, em relação aos materiais inorgânicos, apresentou elevado teor de óxido de ferro, manganês e sílica [9], logo, para maiores inferências é necessária uma análise química espaço-temporal da água.

Dos casos de rompimento de barragem de rejeito, foram registrados sete apenas no estado de Minas Gerais desde 1986 [8]. Esse fato evidencia a necessidade de estudos técnicos mais aprofundados para avaliação de impactos ambientais decorrentes da implementação e operação deste tipo de empreendimento, assim como, um monitoramento das condições de funcionamento dos mesmos.



**Figura 4.** Composição colorida RGB 432 da área de estudo.

## Conclusão

Foi observada elevada reflectância e aumento no valor do índice NDWI para as imagens com datas posteriores e mais próximas da ocorrência do desastre (12/11/2015 e 16/02/2016), o que indica uma maior concentração de sólidos em suspensão nesse período. Em 10/08/2016 e 27/06/2017 os valores de reflectância e do NDWI diminuíram, indicando uma redução da concentração dos sólidos em suspensão da água do Rio Doce.

## Referências

- [1] H. S. Espindola, "O rio Doce e a emancipação da economia nacional (Brasil)", *Hist. Ambient. Latinoam. Caribeña HALAC Rev. Solcha*, vol. 5, nº 1, 2015.
- [2] A. L. N. Coelho, "Bacia hidrográfica do Rio Doce(MG/ES):uma análise socioambiental integrada", *Rev. Geogr.*, vol. 7, p. 131–146, out. 2009.
- [3] Samarco, "Entenda o rompimento", 2017. [Online]. Disponível em: <https://www.samarco.com/rompimento-de-fundao/>.
- [4] M. T. de S. Machado e G. M. de M. Baptista, "Sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento da qualidade da água do Lago Paranoá (DF)", *Eng. Sanit. E Ambient.*, vol. 21, nº 2, p. 357–365, jun. 2016.
- [5] N. P. A. Vieira, F. B. Silva, C. R. Nascimento, E. O. Vieira, e M. S. Fraga, "Soil Losses in the Cedro River Basin/ MG Based on the Sensor TM/LANDSAT-5 Images", *Nativa*, vol. 4, nº 5, p. 261–270, out. 2016.
- [6] C. M. Rudorff, E. M. L. M. Novo, L. S. Galvão, e W. Pereira Filho, "Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia", *Acta Amaz.*, vol. 37, nº 2, p. 269–280, jun. 2007.
- [7] V. Méléder, L. Barillé, P. Launeau, V. Carrère, e Y. Rincé, "Spectrometric constraint in analysis of benthic diatom biomass using monospecific cultures", *Remote Sens. Environ.*, vol. 88, nº 4, p. 386–400, dez. 2003.
- [8] R. de O. Borges, F. F. Camargo, F. Campagnoli, e M. Bayer, "Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o", in *Anais XVII*, João Pessoa - PB - Brasil, 2015.
- [9] C. M. de Freitas, M. A. da Silva, e F. C. de Menezes, "O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres", *Ciênc. E Cult.*, vol. 68, nº 3, p. 25–30, set. 2016.



# Ubicación de áreas agrícolas por medio de imágenes satelitales de alta resolución en distintas zonas de Costa Rica

Location of agricultural areas through high resolution satellite images in different areas of Costa Rica

Andrey Aguilar-Martínez<sup>1</sup>

---

Aguilar-Martínez, A. Ubicación de áreas agrícolas por medio de imágenes satelitales de alta resolución en distintas zonas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 43-50.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4258>



<sup>1</sup> Ingeniero Agrícola. DIT Space SRL, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: andrey.aguilar@ditspacecr.com

## Palabras claves

Imágenes satelitales; clasificación supervisada; área agrícola; dron.

## Resumen

Con el pasar de los días, la frontera agrícola se reduce y se pierde un control exacto de la cantidad de área destinada a la agricultura y cuáles cultivos se desarrollan en una región. El objetivo del estudio se centra en generar una clasificación supervisada de imágenes satelitales para la obtención de las zonas agrícolas a través de un mapa de uso de la tierra. Se utilizaron 4 imágenes satelitales de alta resolución, además del software libre Quantum GIS. El proceso de este proyecto consistió en solicitar las imágenes escogidas para realizar el estudio, en el software QGIS se unieron la banda roja, verde y azul; posteriormente se realizó una ortorectificación para ajustar la posición de la imagen, se obtuvo una clasificación no supervisada para crear una versión previa del uso del suelo; luego, en el trabajo de campo se utilizó un dron para corroborar coberturas confusas o en caso de existir presencia de una nube en la imagen. Por último, se hizo la clasificación supervisada, de acuerdo con la cantidad de coberturas discriminadas. En las cuatro imágenes se tiene una presencia importante de uso agrícola; donde únicamente en la imagen parcial del cantón de Pérez Zeledón, existe mayor porcentaje de suelo con pastos que destinado a la agricultura, las imágenes de León Cortés, Pacayas y de Cañas, muestran una predominancia de la agricultura, existiendo gran diferencia entre los cultivos presentes. La información derivada es importante para el ordenamiento territorial, censos agropecuarios, predicción de cosechas, regulación de mercado.

## Keywords

Satellite images; supervised classification; agricultural area; drone.

## Abstract

With the passing of days, the agricultural frontier is reduced and an exact control of the amount of area destined to agriculture and which crops are developed in a region is lost. The objective of the study is to generate a supervised classification of satellite images to obtain agricultural areas through a map of land use. Four high-resolution satellite images were used, in addition to the Quantum GIS free software. The process of this project consisted of requesting the chosen images to carry out the study, in the QGIS software the red, green and blue band were joined; later an orthorectification was carried out to adjust the position of the image, an unsupervised classification was obtained to create a previous version of land use; then, in the field work, a drone was used to corroborate confusing coverage or in case of presence of a cloud in the image. Finally, supervised classification was made, according to the number of discriminated coverages. In all four images there is an important presence of agricultural use; where only in the partial image of the canton of Pérez Zeledón, there is a higher percentage of land with pastures than for agriculture, the images of León Cortés, Pacayas and Cañas show a predominance of agriculture, there being a great difference between the crops present. The derived information is important for territorial ordering, agricultural censuses, crop prediction, market regulation.

## Introducción

Debido al rápido crecimiento de la población que se presenta actualmente, la frontera agrícola se está reduciendo, esto genera que áreas dedicadas a la agricultura u otras actividades agropecuarias sean reemplazadas por sitios residenciales, comerciales, hasta incluso industriales; lo anterior, se debe a la demanda de necesidades y servicios que requiere la población, por lo que un frecuente control del área agrícola es cada vez de mayor dificultad.

La agricultura, así como distintos sectores económicos, se apoyan en la tecnología con el fin de facilitar u optimizar labores, para realizarlos en menor tiempo, obteniendo resultados de mejor calidad y a un precio menor. Una de las formas en las que la tecnología puede ayudar en el sector agro es por medio de sensores remotos, los cuales permiten el observar de forma aérea la superficie, para así determinar entre algunos ejemplos qué tipo de cobertura se encuentra presente y además poder estimar el área de cierto cultivo.

Según Pérez & Muñoz (2006) [1], la teledetección se refiere a un procedimiento de adquisición de información sin tener un contacto directo con ella; sin embargo, visto para aplicaciones de la Tierra, se entiende como una técnica que capta, trata y analiza imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales. Las misiones espaciales con fines militares fueron el comienzo de la teledetección moderna en la década de 1960 aproximadamente; posteriormente, se puso la tecnología de los satélites para uso civil.

Los mapas de uso de la tierra se pueden realizar por medio de imágenes satelitales, con el fin de referenciar la distribución espacial de cada tipo de cobertura presente en un determinado lugar; de igual manera, dentro del sector agrícola, es una herramienta importante para estimar la cantidad aproximada de hectáreas que son destinadas a la agricultura y además qué tipos de cultivos se encuentran. Lo anterior se puede lograr por medio de clasificaciones (supervisada y no supervisada).

La clasificación supervisada se realiza a partir de un conjunto de ejemplos clasificados (área de entrenamiento), donde se intenta asignar una clasificación a un segundo conjunto de ejemplos. La clasificación no supervisada se basa en las propiedades de los ejemplos para hacer una agrupación de los ejemplos según sea su similitud (Sancho, 2017) [2].

El objetivo del estudio se centra en generar una clasificación supervisada de imágenes satelitales para la obtención de las zonas agrícolas a través de un mapa de uso de la tierra.

## Materiales y metodología

El proyecto se realizó en cuatro distintas zonas de Costa Rica, con el fin de detectar zonas agrícolas para conocer qué tipo de cultivos están presentes y qué porcentaje representaban dentro de un área de interés. Las zonas de estudio fueron:

- Parcialmente cantones de León Cortés, Desamparados, Cartago, El Guarco y Aserrí.
- Parcialmente cantón de Pérez Zeledón; distritos: Daniel Flores, Páramo, Cajón, San Isidro de El General, Rivas y El General.
- Parcialmente cantón de Cañas, provincia de Guanacaste.
- Zona norte de la provincia de Cartago, principalmente cantón de Alvarado.

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- 1 imagen satelital de alta resolución Kompsat 3, para la zona de León Cortés, Desamparados, Cartago, El Guarco y Aserrí.

- 1 imagen satelital de alta resolución Kompsat 3, para la zona de Daniel Flores, Páramo, Cajón, San Isidro de El General, Rivas y El General.
- 1 imagen satelital de alta resolución Kompsat 2, para el cantón de Cañas.
- 1 imagen satelital de alta resolución Kompsat 2, para el cantón de Alvarado.
- 1 dron marca DJI, modelo Mavic Pro.
- Software Quantum Gis, versión “Las Palmas 2.18.3”.

La metodología utilizada durante del proyecto fue:

- Obtener imágenes satelitales del proveedor: se completa el formulario con las características de las imágenes necesarias, además de comunicar el Área de Interés (AOI) deseado para recibir el área completa a trabajar durante el proyecto.
- Una vez recibidas y descargadas las imágenes, se procedió a cargar las imágenes de cada banda por separado en el software libre Quantum Gis.
- Juegos de bandas: se mezclaron la banda roja, verde y azul (RGB) para establecer el color verdadero, el cual se asemeja con la realidad del territorio; esto se llevó a cabo por medio del complemento “Semi Automatic Classification, Band Set”.
- Ortorectificación: se realizó la corrección geométrica para ajustar al sistema de coordenadas para Costa Rica, CRTM05, con el fin de asegurar el posicionamiento correcto de la imagen. Lo anterior se hizo por medio de puntos de control con el sistema de coordenadas fuente, esto a través de la herramienta Georeferencing del software utilizado.
- Clasificación no supervisada: previo a la visita de campo, se analizó por medio de las imágenes el sitio, con el fin de obtener una versión preliminar del uso de la tierra en cada área de trabajo. Esta clasificación se llevó a cabo por medio de la herramienta Orfeo Toolbox Unsupervised Classification.
- Trabajo de campo: Se realizó para conocer la realidad de las zonas del proyecto; para ello se utilizó un dron DJI Mavic Pro, con el fin de sobrevolar aquellas áreas de difícil acceso y corroborar coberturas, además, de realizar visitas a sitios previamente elegidos y los de mayor incertidumbre de cobertura observado en las imágenes satelitales.
- Clasificación supervisada: posterior a la visita de campo y teniendo conocimiento de la matriz de cada una de las coberturas de mayor representación en las áreas de estudio, se realizó la clasificación supervisada, según la cantidad de coberturas discriminadas. Este proceso se elaboró con la herramienta de SAGA Supervised Classification.
- Análisis de resultados: una vez obtenidas las clasificaciones se interpretaron para analizar la distribución espacial del uso de la tierra, con especial atención al uso agrícola, el cual fue el principal objeto de estudio.

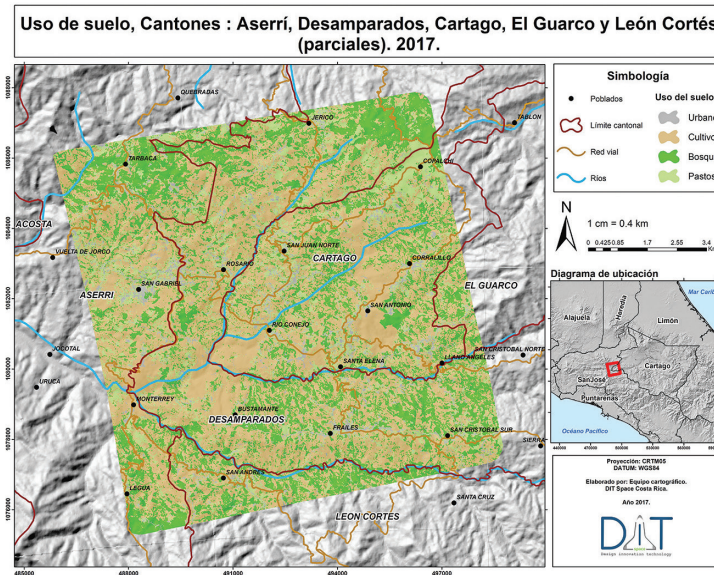
## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en las diferentes áreas de estudio para obtener el uso de la tierra, y con mayor importancia el área agrícola, son los siguientes:

- Zona de los cantones de León Cortés, Desamparados, Cartago, El Guarco y Aserrí.

En la figura 1 se observa cómo se distribuyen los distintos usos que abarca la imagen satelital, donde se presentan cultivos en la zona noreste, este, sureste y suroeste de la imagen; los bosques se encuentran en su mayoría ubicados en la zona norte y este de la

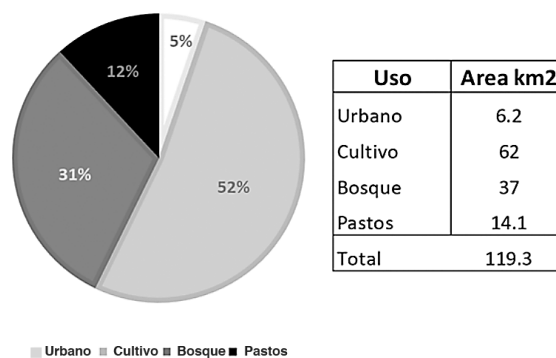
imagen que corresponde a las partes de mayor altitud, además, las áreas de pastos se encuentran distribuidas en distintas zonas, siendo la parte central la de mayor densidad. Estos tres usos anteriores se encuentran en proporciones similares, y cubren la mayor parte de la imagen (90%).



**Figura 1.** Uso de la tierra para zona de Desamparados, Cartago, El Guarco y León Cortés.

Por otra parte, el uso de suelo urbano representa el 9,4% del área total, siendo el poblado de San Isidro de El General, el cual presenta una zona altamente urbana gracias al desarrollo económico del centro de población.

En la figura 2, se muestran los resultados del área que representa cada uso de suelo, donde los cultivos, bosques y pastos abarcan cerca de 30 km<sup>2</sup> cada uno, por lo que se tiene una distribución de actividades económicas como la agricultura y ganadería de manera semejante.



**Figura 2.** Distribución porcentual del uso de la tierra.

- Zona del cantón de Pérez Zeledón; distritos: Daniel Flores, Páramo, Cajón, San Isidro de El General, Rivas y El General.



Como se observa en la figura 3, existe una dominancia del uso cultivo en el área de la imagen satelital, siendo la actividad de producción de café la preponderante con el 52% del área total, con áreas dispersas, pero sustanciales, de parches de bosque (31%). Por otra parte, son pocas las áreas destinadas a pastos, siendo el 14%, y el uso urbano comprende sólo el 6% del total de la imagen clasificada.

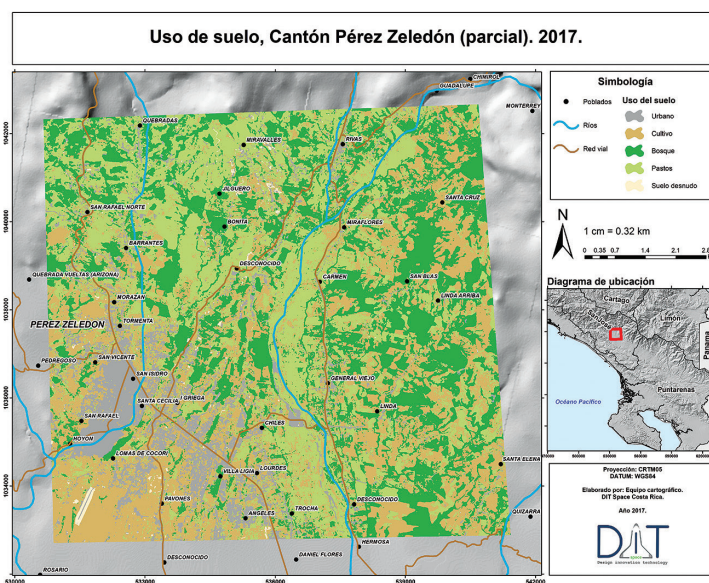


Figura 3. Uso de la tierra para zona del cantón de Pérez Zeledón.

En la figura 4 se puede observar el resumen de esta zona, la cual comprende un área netamente agropecuaria, dedicada al trabajo de las tierras y a la conservación de sistemas forestales, con una distribución dispersa de los principales focos urbanos.

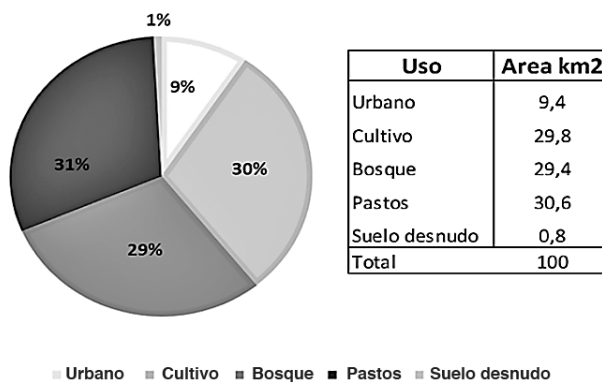
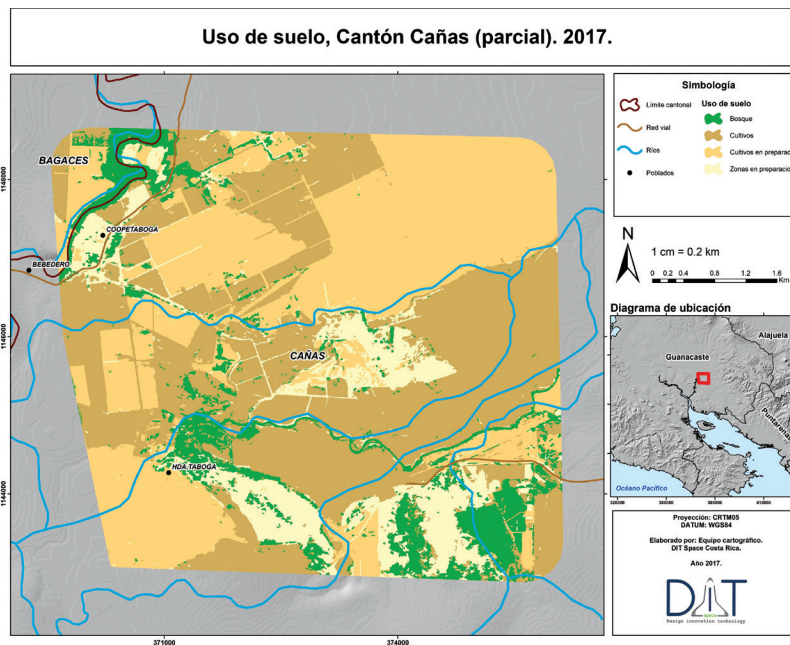


Figura 4. Distribución porcentual del uso de la tierra.

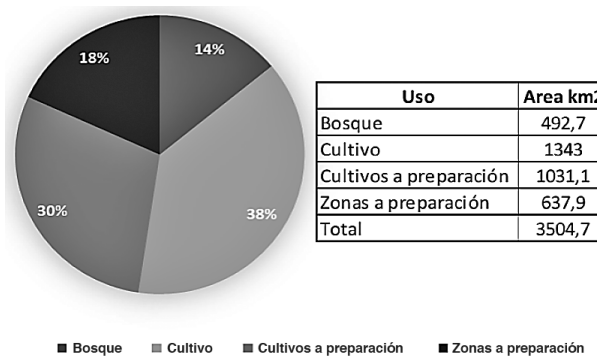
- Zona del cantón de Cañas, provincia de Guanacaste.  
Esta zona representa los cultivos de caña en la provincia de Guanacaste, como se observa en la figura 5, la mayor cantidad de área es de cultivo establecido de caña, esto

para la fecha de captura de la imagen; luego, los terrenos en preparación (30%) y zonas no cultivables (18%).

En la figura 6 se logra contemplar que en la zona también existe presencia de bosque, principalmente cerca de las orillas de los ríos, como protección ambiental, esto representa un 14% del área total en estudio.



**Figura 5.** Uso de la tierra para zona del cantón de Cañas.



**Figura 6.** Distribución porcentual del uso de la tierra.

- Zona norte de la provincia de Cartago, principalmente cantón de Alvarado.

Como se observa en la figura 7, existe una dominancia del uso destinado a cultivos (37%), siendo la papa, la zanahoria y las hortalizas los productos más desarrollados. Además, se lleva a cabo la actividad de ganado de leche por lo cual es necesario la colocación de pastos para su alimentación, y este representa el 30% del área total, adicionado a terrenos que se encuentran en abandono o descanso.

## Conclusiones

- En las zonas de estudio el uso de la tierra es mayoritariamente cultivos, los cuales, al ser sitios con topografía y clima distinto, se presentan cultivos distintos.
- Por medio de imágenes satelitales es posible realizar actualizaciones del territorio agrícola de manera confiable, rápida y económica.
- El sector agrícola costarricense debe adoptar de manera paulatina el uso de tecnología para recolectar mayor cantidad de información para la toma de decisiones importantes como desabastecimiento o exceso de algún producto.

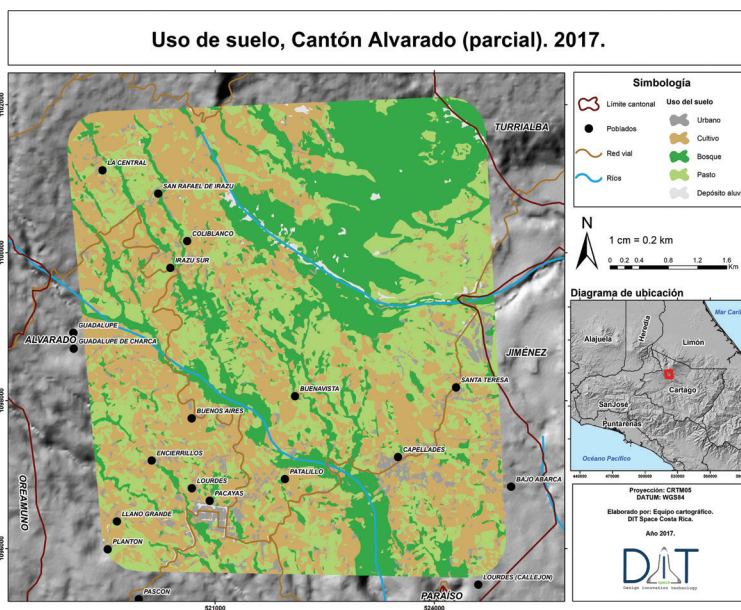


Figura 7. Uso de la tierra para zona del cantón de Alvarado.

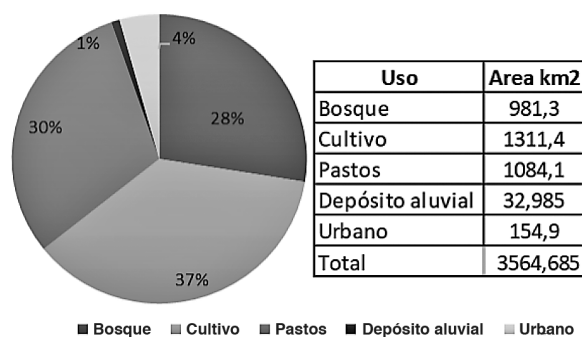


Figura 8. Distribución porcentual del uso de la tierra.

## Referencias

- [1] Pérez. C, & Muñoz. Á, Teledetección: nociones y aplicaciones. Salamanca, España: Universidad de Salamanca, 2006.
- [2] Sancho. F. (2017). Clasificación Supervisada y No Supervisada [En línea]. Disponible: <http://www.cs.us.es/~f-sancho/?e=77>

# Geoportal de suelos de Costa Rica como Bien Público al servicio del país

## Geoportal of Costa Rican soils as Public Good at the service of the country

Rafael Mata-Chinchilla<sup>1</sup>, Jonathan Castro-Chinchilla<sup>2</sup>

---

Mata-Chinchilla, R; Castro-Chinchilla. Geoportal de suelos de Costa Rica como Bien Público al servicio del país. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 51-56.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4259>



- 1 Máster en Ciencias del Suelo, docente e investigador del Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: rafael.mata@ucr.ac.cr
- 2 Máster en Gestión de la Innovación tecnológica, Especialista en Proyectos del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. Cost Rica. Correo electrónico: jonathan.castro@iica.int.

## Palabras clave

Suelos; Costa Rica; geoportal; SIG.

## Resumen

Poco más de 364.000 datos sobre características físicas, químicas y taxonómicas de suelos, de 1565 puntos de muestreos georreferenciados se encuentran ahora accesibles mediante la plataforma virtual “Geoportal de Suelos de Costa Rica”, en la dirección web [www.suelos.cr](http://www.suelos.cr).

Este es un esfuerzo liderado por el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, junto a el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Si bien la cartografía digital de suelos se empezó en Costa Rica en la década de 1990, sucesivos avances tecnológicos y actualizaciones en la taxonomía edáfica han obligado a abordar de manera innovadora la organización de vastísima información disponible, pero dispersa.

El trabajo desarrollado ha requerido el diseño, gestión y aseguramiento de la calidad de dos productos principales, una base de datos homogénea y la representación geoespacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Productos intermedios del proceso se han materializado como Protocolos para la Gestión de Información en la Base de Datos, una sistematización metodológica del proceso, así como soportes digitales y materiales multimedia (videos) para la utilización de los productos digitales.

Los próximos pasos para la plataforma Geoportal de Suelos de Costa Rica incluyen su difusión y el monitoreo del aprovechamiento por los usuarios, el incremento de la densidad y oferta de datos manteniendo su acceso libre y la posibilidad de exportar el modelo de gestión a otros países del hemisferio.

## Keywords

Soils; Costa Rica; Geoportal; GIS.

## Abstract

Just over 364,000 data on physical, chemical and taxonomic soil characteristics, of 1565 georeferenced sampling points are now accessible through the virtual platform “Geoportal de Suelos de Costa Rica”, at the web address [www.suelos.cr](http://www.suelos.cr).

This is an effort led by the Center for Centro de Investigaciones Agronómicas of the Universidad de Costa Rica, together with the Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS) and the Inter-American Institute of Cooperation for Agriculture (IICA).

Although digital soil cartography was started in Costa Rica in the 1990s, successive technological advances and updates in the edaphic taxonomy have forced us to address in an innovative way the organization of a vast amount of information available but dispersed.

The work developed has required the design, management and assurance of the quality of two main products, a homogeneous database and geospatial representation through Geographic Information Systems (GIS). Intermediate products of the process have materialized as Protocols



for the Management of Information in the Database, a methodological systematization of the process, as well as digital media and multimedia materials (videos) for the use of digital products.

The next steps for the Geoportal Platform of Soils of Costa Rica include its dissemination and monitoring of the use by users, the increase in the density and supply of data while maintaining its free access and the possibility of exporting the management model to other countries of the hemisphere.

## Introducción

El Autor Klaus Schwab propone que actualmente estamos confrontados al desarrollo de la Cuarta Revolución Industrial. Esta Cuarta Revolución básicamente implica un fuerte cambio desde la actual aplicación de tecnologías digitales a la resolución de problemas y la técnica (Tercera Revolución Industrial), hacia una inmersión en las tecnologías digitales, como parte del diario vivir y las innovaciones disruptivas en íntimo y estrecho vínculo con las actividades humanas. Tres aspectos son fundamentales en los cambios actuales de paradigma, la velocidad de las transformaciones del entorno, la amplitud y profundidad con que intervienen en la sociedad y las personas y, por último, su impacto en los sistemas, donde está reorganizando la forma de hacer las cosas [1].

La posición de Costa Rica respecto a esta Cuarta Revolución Industrial, es relativamente modesta. En el informe 2017 del Índice Global de Innovación, el país se ubica en el puesto 53 de 127 estados evaluados, cayendo 8 lugares respecto a su ubicación en el 2016 [2]. Los riesgos de este rezago respecto a la innovación y tecnología ya habían sido advertidos para el Primer Informe del Estado de la Ciencia y la Tecnológica, ECTI, Costa Rica, y en particular para el ámbito agropecuario nacional. El Estado de la Nación determinó en el año 2014 que la mayoría de los grupos científicos en el país se caracterizan por una alta "centralidad", en la que prevalece un escaso número de investigadores, la mayoría de los cuales se encuentra en edad madura (el 71,9% tiene 46 años o más). Se observan debilidades en el campo de las Ciencias Agrarias, debido a un limitado capital de relaciones entre sus miembros [3].

En el ámbito de las ciencias del suelo históricamente se ha trabajado en la generación de productos científicos y técnicos de cobertura nacional, en diversos formatos. Por ejemplo, en el año de 1979 el Ministerio de Agricultura y Ganadería publica en formato análogo el Mapa de Suelos de Costa Rica escala 1:200.000 [4]. Este mismo autor cambia de formato este producto, llevándolo a su primera versión digital en el año 1989.

A partir del 2012 un grupo conformado por representantes de la Universidad de Costa Rica, Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo (ACCS) y del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuario (INTA), inician el proceso para revisar, corregir y digitalizar los mapas de órdenes de suelos existentes a la fecha. Paralelamente a este proceso se inicia con la compilación y revisión de perfiles de suelos realizados desde 1975 hasta el 2012 que permanecían en papel y conformar una base digital de datos de perfiles que sustentara las correcciones y edición del mapa de órdenes y subórdenes de suelos. El 5 de diciembre del 2013, se celebró el día Mundial de Suelos y en el marco de esta celebración se publicó el nuevo mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a una escala 1: 200.000 y la base de datos con 450 perfiles de suelos de Costa Rica [5]. A este esfuerzo se suma en 2015 el apoyo del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, en su Representación Costa Rica, para una nueva actualización que sale a la luz en el año 2016. Esta actualización incluye una ampliación de la base de datos alcanzando poco más de 1500 perfiles incluidos y su desarrollo bajo el enfoque de un Bien Público al servicio de la agricultura costarricense [6].

Si bien el producto presentado implica un esfuerzo de muchos años y entidades, así como una herramienta de alto potencial para el análisis nacional desde el enfoque edáfico hacia la producción agropecuaria, su gestión aun requería un nivel de especialización medio alto por parte del usuario. Al ser presentado como insumos de un Sistema de Información Geográfica, requiere el conocimiento y uso, por ejemplo, de programas informáticos especializados y conocimientos relacionados. Es por esto, que un nuevo esfuerzo coordinado entre el CIA-UCR y el IICA para el año 2017 buscó presentar tanto el Mapa de Digital Suelos de Costa Rica versión 2016, como su base de datos, a través de un formato digital en línea, ampliando su acceso a múltiples usuarios, no necesariamente especializados.

## Materiales y métodos

El desarrollo del geo portal de suelos de Costa Rica se basa en los insumos obtenidos en la actualización del Mapa Digital de Suelos de Costa Rica versión 2016, incluidos una base de datos construida con el programa Microsoft Excel® y una capa digital en formato Sistema de Información Geográfica.

La base de datos fue tanto diseñada como alimentada por personal asociado al CIA-UCR. Los datos que le dieron origen incluyen una amplia serie de publicaciones de dominio público, incluidos artículos científicos, libros, tesis, entre otros. El requisito fundamental para su inclusión en la base de datos se definió por la disponibilidad de una descripción detallada del suelo asociada a un sitio georreferenciado concreto.

La base de datos de suelos complementada y actualizada fue sujeta de sucesivas revisiones y controles de calidad, que incluían uniformidad de la referencia geográfica, la nomenclatura y coherencia de la profundidad de horizontes, uniformidad de unidades en que se expresan características físicas y químicas, entre otras. Con los resultados depurados se realizaron enmiendas y actualizaciones, especialmente en términos de taxonomía de suelos (Orden, Suborden, Gran grupo, Sub grupo). De ser necesario y según la representatividad de los datos, de las enmiendas a la base de datos se realizaron correcciones y mejoras a las capas digitales del Mapa de Suelos.

Tomando como base el producto digital en línea GoogleMaps ©, se superpusieron las capas digitales de Órdenes y Subórdenes de suelos, utilizando base de programación informática HTML. Asimismo, los puntos de referencia geográfica para cada sitio incluido y descrito en la base de datos. Se incluyó un recuadro de navegación, que describe la ubicación del puntero sobre el mapa en términos de coordenadas geográficas y el correspondiente Orden y Suborden de suelo. Un nombre de dominio específico fue registrado en NIC Costa Rica.

El Geo portal de Suelos fue asociado a una cuenta de correo independiente, como buzón de intercambio con el usuario (opción “Contáctenos”). Esta misma dirección de correo fue asociada a la utilidad GoogleAnalytics ©, con la finalidad de dar seguimiento a los accesos al Geo Portal, sitios visitados y set de datos de puntos de muestreo descargados. Lo anterior con la finalidad de determinar las tendencias de consulta y utilización de la herramienta digital.

## Resultados

La totalidad de información compilada originó una base de datos que reúne información de 1565 puntos de muestreo a lo largo y ancho de Costa Rica. De estos sitios de muestreo se capturan poco más de 364.000 datos sobre características físicas, químicas y taxonómicas de suelos. Como máximo 93 variables de caracterización de los suelos incluyen (cuando la fuente original de datos lo contenía):

- Número de identificación del punto (Id)
- Longitud y latitud (WGS 84)
- Ubicación Política (Provincia, Cantón, Distrito)
- Año de descripción
- Número, nombre y profundidad de horizontes
- Para cada horizonte: pH en agua, Acidez, Ca, Mg, K, Suma de bases, CICE (como cmol(+)/L), Saturación de acidez (como %), P, Zn, Cu, Fe, Mn (como mg/L), Materia y Carbono Orgánico (como %), Bases en Acetato de Amonio (como cmol(+)/kg), CIC, Saturación de Bases (como %), pH en NaF, pH en KCl, Retención P (como %), Al y Fe en oxalato (como %), Conductividad Eléctrica (mS/cm), Arena, Limo y Arcilla (como %), Clase Textural, Granulometría de la fracción gruesa (como gr/cm<sup>3</sup>), Densidad Aparente y de Partículas (como %), Poros (como %), Retención de humedad y agua útil (como %), Conductividad hidráulica (como cm/h), Resistencia a la penetración (como N/cm<sup>2</sup>), COLE, Provincia fisiográfica, Material Parental, Clima Edáfico, Zona de Vida, Relieve, Gradiente (como %), Altitud (en m.s.n.m.), Dirección de la pendiente, Orientación, Vegetación, Fertilidad Aparente, Drenaje, Profundidad de la tabla de agua, Pedregosidad/Roca Superficial, Erosión, Color de la Matriz, Color acompañante, Estructura, Consistencia, Porosidad, Raíces, Limites, Biomasa Microbiana, Formaciones especiales,
- Clasificación taxonómica USDA (Orden, Suborden, Gran grupo, Sub grupo) y Autor del estudio

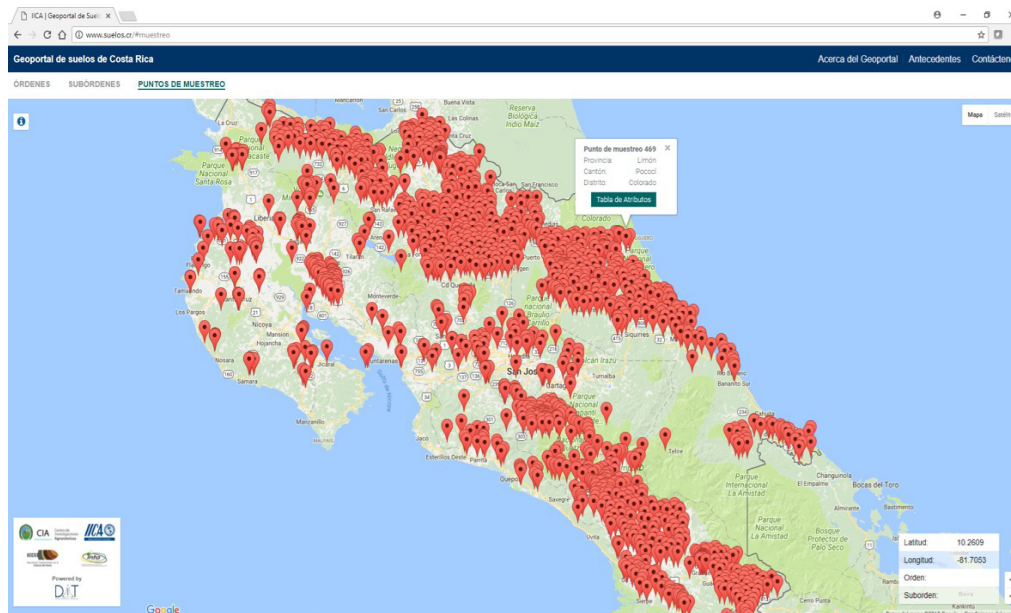
Las capas digitales presentadas en el geoportal describen 1091 polígonos que cubren la totalidad del área continental de Costa Rica, en los niveles de Órdenes y Subórdenes de suelos. Presentan un total de 21 categorías de Órdenes o transiciones y 39 categorías de Subórdenes o transiciones.

Los 1565 puntos de muestreo se despliegan para su revisión preliminar presentando los datos: Provincia, Cantón, Distrito, Latitud, Longitud, Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Cantidad de horizontes descritos, Nombre de los Horizontes descritos y Total de datos químicos y físicos disponibles para el punto. La descarga de todas las variables descritas en la base de datos, como formato Microsoft Excel © está disponible para los usuarios, sin requerimientos de registro o costo. La plataforma se puso a disposición en la dirección web <http://suelos.cr/> (figura 1).

## Conclusiones

El Geoportal de suelos puede considerarse el primer esfuerzo unificado en dotar de total accesibilidad y sin costo a datos relevantes sobre los suelos de Costa Rica, tanto a público especializado como a la sociedad civil en general. Este instrumento trata de alinear el conocimiento generado desde hace muchos años y por muchos actores a los modos actuales de gestión de datos bajo formatos digitales y plataformas abiertas de Sistemas de Información Geográfica.

Este debe considerarse como un primer esfuerzo, ampliamente mejorable, donde se espera, a partir de la experiencia del usuario (estadísticas de uso y realimentación directa), avanzar en dos líneas importantes, 1) incrementar la disponibilidad de datos y 2) mejorar la forma de presentarlos para su utilización en aplicaciones específicas.



**Figura 1.** Visualización del Geoportal de Suelos de Costa Rica 2017.

Si bien el producto parte de un robusto proceso técnico y de un innovador estilo de acceso y presentación, procura también establecer un nuevo paradigma de colaboración. Este parte de las asociaciones iniciales para lograr el avance actual (CIA-UCR, ACCS, INTA e IICA), pasa por las diferentes entidades y personas que han aportado datos y propone una continuidad de un modelo colaborativo para ampliar el esquema. Esto incluye tanto la sistematización como el acceso al conocimiento de suelo, como punto de partida para una amplísima gama de productos que pueden derivarse en mejora del sector primeramente agropecuario, y posiblemente en otros ámbitos relacionados a la disciplina de los suelos.

## Referencias

- [1] K. Schwab, *La cuarta revolución industrial*. Madrid, España: Editorial Debate, 2016, pp 224.
- [2] S. Dutta, B. Lanvin, y S. Wunsch-Vincent, *The global innovation index 2017: Innovation feeding the world*. Johnson Cornell University, 2017.
- [3] P. E. de la Nación, «Estado de la ciencia, la tecnología y la innovación», San José, Costa Rica, 2014, pp. 405.
- [4] A. Vásquez, «Mapa de suelos de Costa Rica escala 1: 200.000», Ministerios de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica, 1979.
- [5] CIA-UCR, «Mapa digital de Suelos de Costa Rica». San José de Costa Rica. 2013.
- [6] IICA. «Costa Rica actualiza su mapa digital de suelos | Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura». [En línea]. Disponible en: <http://www.iica.int/es/prensa/noticias/costa-rica-actualiza-su-mapa-digital-de-suelos>.

# Uso de la tierra y crecimiento de la población en el oriente del estado de México

## Use of the earth and growth of the population in the east of the state of Mexico

Genaro Aguilar-Sánchez<sup>1</sup>, Miriam Julián-Santiago<sup>2</sup>

---

Aguilar-Sánchez, G; Julián-Santiago, M. Uso de la tierra y crecimiento de la población en el oriente del estado de México. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 57-63.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4260>



- 1 Dr. Profesor-investigador de la DCRU-Universidad Autónoma Chapingo. México. Correo electrónico: [g\\_aguila@correo.chapingo.mx](mailto:g_aguila@correo.chapingo.mx)
- 2 Ing. En Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo. México. Correo electrónico: [mirjs@correo.chapingo.mx](mailto:mirjs@correo.chapingo.mx)



## Palabras clave

Cambio de uso de la tierra; población; México.

## Resumen

El oriente del estado de México en los últimos años ha tenido un gran crecimiento de núcleos urbanos, cambiando el uso de los recursos naturales. El objetivo es caracterizar el uso de la tierra y relacionarlo con el crecimiento de la población, para diagnosticar el impacto de la población en la microcuenca de los ríos Coatepec y El Manzano. Para lo anterior se caracterizaron ocho usos de la tierra. Siendo el uso agrícola el más representativo de la cuenca. A través de ortofotos digitales e imágenes de satélites Landsat 7, se generaron los mapas del uso de la tierra para los años 1999 y 2015. Los resultados obtenidos fueron la reducción de hectáreas destinadas al uso: agrícola, vegetación menos densa y, baldío; mientras que se incrementaron hectáreas para los uso urbano, mina y matorral. Los cambios en el uso de la tierra, se relacionan con el crecimiento de la población de los municipios presentes del oriente del Estado de México: Chicoloapan, Ixtapaluca y Texcoco, con una tasa de crecimiento en por ciento de 10.87, 4.4 y 1.2 respectivamente. Se recomienda diversificar los cultivos, implementar un sistema de pastoreo controlado en áreas de matorral, así como un plan de manejo para 800 hectáreas de bosque. Establecer obras de contención para el control de escurrimientos y disminución de arrastres en los ríos Manzano y Coatepec

## Keywords

Change in land use; population; Mexico.

## Abstract

The east of the state of Mexico in recent years has had a large growth of urban centers, changing the use of natural resources. The objective is to characterize the use of the land and relate it to the population growth, to diagnose the impact of the population in the microbasin of the Coatepec and El Manzano rivers. For the above, eight uses of the land were characterized. Being the agricultural use the most representative of the basin. Through digital orthophotos and images from Landsat 7 satellites, maps of land use were generated for the years 1999 and 2015. The results obtained were the reduction of hectares destined for use: agricultural, vegetation less dense and, wasteland; while hectares were increased for urban use, mine and scrub. The changes in land use are related to the population growth of the municipalities present in the east of the state of Mexico: Chicoloapan, Ixtapaluca and Texcoco, with a growth rate in percent of 10.87, 4.4 and 1.2 respectively. It is recommended to diversify the crops, implement a controlled grazing system in scrub areas, as well as a management plan for 800 hectares of forest. Establish containment works for the control of runoff and reduction of trawls in the Manzano and Coatepec rivers

## Introducción

La población en México ha aumentado considerablemente en las últimas décadas hasta alcanzar, en el año 2010, una población total de 112.3 millones de habitantes. Aunado a esto, la desigualdad social se hace cada vez más evidente pues, del total de la población; el 46% vive en condición de pobreza y el 9.5% en pobreza extrema.[1] Las cifras mencionadas contrastan considerablemente si las comparamos con la riqueza y biodiversidad de los recursos naturales presentes en el país, significa entonces que, innegablemente se ha hecho un uso inadecuado y desmedido de estos recursos.

Una de las regiones donde mayor presión se ejerce sobre el medio natural es la Cuenca del Valle de México, cuya población en 2010 alcanzó un total de 20.11 millones, es decir, el 19% de la población total del país. La presente investigación se enfoca en el estudio de la microcuenca de los ríos Coatepec y El Manzano ubicados en los municipios de Chicoloapan, Ixtapaluca y Texcoco en el oriente del Estado de México. Se caracterizaron los usos de la tierra y los cambios ocurridos en un periodo de 15 años, así como el impacto que genera el crecimiento poblacional en la cuenca. Objetivo. Delimitar y caracterizar el uso actual de la tierra en la microcuenca de los ríos Coatepec y El Manzano de 1999 a 2015, ubicada al oriente de estado de México.

## Materiales y métodos

La delimitación de la microcuenca se realizó utilizando el Modelo Digital de Elevación de INEGI y las curvas a nivel para generar la red de corrientes con la extensión *Spatial Analyst de ArcGis*. En la caracterización de los recursos naturales se usa la propuesta de [2]. La topografía, edafología y geología presentes en la microcuenca de estudio, se obtuvieron de las correspondientes cartas de Chalco con clave E14B36 de INEGI [3] escala 1:50,000. Para el clima, se utilizó el *shp* de climas del portal geoinformación de la Comisión Nacional para el Uso y el Conocimiento de la Biodiversidad [4], escala 1:1, 000,000.

Caracterización morfométrica. Se determinaron algunas características morfométricas de la microcuenca como definen,[5],[6]y[7]: Área, perímetro, longitud, índice de forma, coeficiente de compacidad, tiempo de concentración, red de drenaje, número de orden de corrientes, densidad de drenaje, relación de bifurcación, perfil longitudinal, pendiente del cauce principal, pendiente media de la cuenca, curva hipsométrica y altura media de la cuenca. Dichos parámetros se obtuvieron con una combinación de los *SIG* y programación en *Microsoft office Excel* empleando las fórmulas que los autores refieren.

Uso del suelo y vegetación. Para generar el mapa de Uso del suelo y Vegetación, se siguió la metodología del levantamiento fisiográfico que propone [8]. Después de la delimitación de la zona de estudio, posteriormente se obtuvieron las fotografías aéreas en blanco y negro de [9] para estudiar el uso de la tierra en ese año, así como imágenes de satélite google earth del año 2015 para estudiar el uso actual de la tierra. Para el análisis de la expansión de la mancha urbana, se realizó la sobre-posición de los mapas generados para el año 1999 y 2015, y se compararon las superficies ocupadas y los porcentajes que abarcan en la cuenca. Se analizaron también los censos de población y vivienda del Estado de México para los municipios de San Vicente Chicoloapan, Ixtapaluca y Texcoco con el fin de relacionar el crecimiento poblacional, los cambios ocurridos, así como los servicios con los que cuenta la población para satisfacer sus necesidades primordiales.

## Resultados y discusión

En el oriente del Estado de México, en los municipios de San Vicente Chicoloapan, Ixtapaluca y Texcoco se ubica la microcuenca de los ríos Coatepec y el Manzano pertenece a la Región Hidrográfica 26-Pánuco y región hidrológica administrativa del Valle de México mejor conocida como Cuenca del Valle de México. La Cuenca del Valle de México está compuesta por siete subcuencas, dentro de las cuales se encuentra la del ex Lago de Texcoco. El área de estudio se encuentra ubicado geográficamente entre los 98°46'0.13" y 98°54'46.64" longitud oeste y entre los 19°23'0.16" y 19°25'57.28" latitud norte, se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico, en la porción central de la Subprovincia Fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac. Se encuentra rodeado por cadenas montañosas de origen volcánico, entre los que destacan las sierras de las cruces, el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl. La geología

de la microcuenca está representada principalmente por materiales de tipo ígneo, reportando 2 tipos de rocas: andesitas y brecha sedimentaria (60%). También se tiene la presencia de material lacustre y aluvión con un 17.7%. La edafología de la microcuenca está compuesta por cambisol, feozem, litosol y regosol, [3]

Hidrología. El área de estudio se encuentra ubicada en la región hidrológica número 26 denominada Pánuco, dentro de la subcuenca del Lago de Texcoco (RH26DN) y Zumpango, la cual forma parte de la Cuenca del Río Moctezuma. Existen dos causes o ríos intermitentes que son torrenciales en la época de lluvias y, por su longitud sobresalen los ríos El manzano y Coatepec. Los ríos corren en dirección Este-Oeste para unir su afluencia al noreste de la cabecera municipal, pasando por el dren Chimalhuacán I y II. Ambos ríos contienen aguas residuales domésticas e industriales, los cuales originan contaminación en la zona y provocan desbordamiento en las épocas de lluvia.

Los tipos de clima presente en la microcuenca de estudio son: Templado Sub húmedo con temperatura media anual entre 12 y 18 °C y temperatura del mes más frío entre -3°C y 18 °C; y semifrío subhúmedo con temperatura media anual entre 5 y 12°C. La precipitación en la parte baja y media de la microcuenca es de 600 a 650 mm anuales, esta es la más representativa. En la parte alta, entre los 2600 msnm a 3400msnm, la precipitación va de los 650 a 700mm anuales, la temperatura en la microcuenca de estudio va desde los 12 °C en las partes más altas hasta los 17 °C en las partes bajas.

Caracterización socioeconómica de la microcuenca Coatepec y El Manzano. El Estado de México es la entidad más poblada con 16.1 millones de habitantes para el año 2015, [1] en, representa el 13.5 % de la población nacional. La población de los municipios que abarcan la microcuenca de estudio se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Población de los municipios presentes en la microcuenca de estudio

Municipio	Población total				Tasa de crecimiento
	2000	2005	2010	2015	15 años
Chicoloapan	77 577	170 035	175 053	204 107	10.87%
Ixtapaluca	297 570	429 033	467 361	495 563	4.4%
Texcoco	204 102	209 308	235 151	240 749	1.20 %

Fuente: Cuaderno Estadístico del Estado de México, INEGI 2016.

Aunque el municipio de Ixtapaluca tiene la población más alta, la tasa de crecimiento nos indica que Chicoloapan es el que más ha crecido en 15 años. Este municipio también es el que mayor impacto tiene sobre la cuenca, pues tiene mayor superficie dentro de ella.

En términos específicos, según las localidades dentro de la cuenca: 8 localidades de Chicoloapan más la cabecera municipal, 7 localidades de Ixtapaluca y solo una localidad del municipio de Texcoco, nos dan un total de 175, 897 habitantes dentro de la microcuenca de los ríos Coatepec y El Manzano. En el cuadro 3 se presenta los parámetros obtenidos para la cuenca.

**Cuadro 2.** Superficie y porcentaje de los municipios de la microcuenca de estudio.

Municipio	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie dentro de la microcuenca (Km <sup>2</sup> )	% del área municipal que aporta a la cuenca	% del área total de la cuenca
San Vicente Chicoloapan	60.89	27.91	45.8	57.8
Ixtapaluca	315.1	14.003	4.4	29
Texcoco	418.69	6.354	1.5	13.2

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3.** Parámetros relativos al área y la longitud de la cuenca.

Área de la cuenca	ha	km <sup>2</sup>
	4828.2	48.28
Perímetro	m	km
	35231.6	35.232
Longitud de la Cuenca	15948	15.9
Longitud río Coatepec	18450.6	18.45
Longitud río El Manzano	12612.04	12.6
Canal	3653.4	3.65

Fuente: Elaboración propia

Uso de la tierra del año 1999 y 2015 .Se clasificaron 8 usos de la tierra. El siguiente cuadro muestra la superficie y porcentaje de dichos usos.

**Cuadro 4.** Usos de la tierra para el año 1999- 2015.

Usos de la tierra 1999	Área (ha)	% del total de la cuenca	Uso actual la tierra 2015 (ha)	% del total de la cuenca	Variación en %
Agrícola	2060.4	42.7	1624.8	33.6	-9.0
Baldíos	172.357	3.6	99.1	2.1	-1.5
Bosque	902.5	18.7	862.4	17.9	-0.8
Sin vegetación aparente	189.0	3.9	206.1	4.3	+0.4
Minas	156.7	3.2	300.8	6.2	+3.0
Otros	24	0.5	23.0	0.5	0.0
Urbano	294	6.1	860.7	17.8	+1.7
Vegetación menos densa	1029.4	21.3	852.3	17.6	-3.7

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que el uso agrícola en el 2005, mantiene mayor presencia en la microcuenca con una superficie de 1624.8 hectáreas, es decir 394 hectáreas menos que en el año 1999. En seguida el área con tiene una superficie de 862.4 ha, ocupando así el segundo lugar con 17.9% de la superficie total de la cuenca. El uso urbano actualmente se ubica en el tercer lugar de importancia con una superficie de 860.7 hectáreas que representa el 17.8% del área de la cuenca, tan solo un porcentaje antes de la vegetación menos densa.

El uso agrícola de la tierra se redujo en 435. 6 hectáreas, fue el uso que tuvo un mayor decremento equivalente a un 9%. Dichas superficies pasaron a ser utilizadas para la construcción de colonias y unidades habitacionales debido a la cercanía con la zona urbana y las vías de comunicación. En el aspecto forestal, la superficie del bosque se redujo en 40.1 hectáreas, esto es el 0.8% con respecto a la superficie total. Por otro lado, la vegetación menos densa se redujo en 177 hectáreas, esto es 3.7%, por lo que ocupa el segundo lugar de los usos con mayores decrementos.

## Conclusiones

Las tierras con suelos de tipo feozem calcárico y háplico son aptos para cultivos agrícolas, por lo que no se recomienda que la urbanización ocupe dichas áreas. El regosol eutrico y litosol, se podrían destinar también para el uso urbano, es decir, el crecimiento inevitable de la zona urbana en la microcuenca podría ocupar algunas hectáreas de dicho tipo de suelos. En el suelo cambisol con uso forestal, se propone la implementación de un plan de manejo para aprovechar de manera sustentable las 800 hectáreas aproximadamente de bosque.

Los cambios de uso de la tierra, tienen como causa principal el incremento de la población, pues de los municipios que abarcan la cuenca, Chicoloapan cuya superficie dentro de la microcuenca es mayor, tiene el más alto crecimiento poblacional con una tasa de 10.87% de 2000 a 2015. Además de que el uso que más se incrementó fue el urbano. Se considera prioritario mantener la actividad agrícola en la región y diversificar la producción de cultivos. Se propone una diversificación de los cultivos que ya se siembran e implementar la producción de hortalizas que se adapten a climas templados, con ciclos de crecimiento menores de 5 meses, compensando los requerimientos de precipitación con riego, especies como: acelga, calabacita, cebolla, cilantro, espinaca, lechuga, etc., destinado para el consumo local-familiar de la zona. Sembrar y/o alternar especies de leguminosas como el chícharo, el haba, el garbanzo, incluso el amaranto, pues son cultivos que se adaptan al clima templado, con ciclos de maduración promedio de 5 meses y requerimientos de humedad mínima de 150mm y promedio de 600mm. Dichos cultivos además de fijar nitrógeno al suelo mejorando su calidad, su consumo aporta nutrientes importantes para la buena alimentación de las personas.

En laderas con pendientes menores a 15%, correspondiente al uso pastizal-matorral, se recomienda implementar el cultivo de nopal para consumo (verdura) y el maguey (pulquero) para favorecer la alimentación y economía de las familias, al mismo tiempo que funcionan como barreras vivas para el control de la erosión de suelos si se siembran a lo largo de bordos-zanjas siguiendo las curvas de nivel, terrazas individuales o en fajas entre parcelas. Para los ríos Coatepec y El Manzano se recomienda establecer obras de contención para el control de los escurrimientos superficiales y disminución del arrastre de sedimentos aguas abajo.

## Referencias

- [1] *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)*, Censo de población y vivienda del estado de México, Ags, Ags., México, 2016
- [2] G. Aguilar, *Planeación del uso de los recursos naturales*. Chapingo, Texcoco, Edo. de México: UACH-C.R, 2003



- [3] *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)*, Carta Topográfica, Edafología y Geología, Chalco de Díaz Covarrubias, Clave E14B31, Escala 1:50,000. 2009
- [4] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), (15 de Enero de 2015). [Online]. Available: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=89>. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) - Estadísticas del Agua en México 2008: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=89>,
- [5] F. Rodríguez , *Escurrimiento Superficial*. Chapingo, Estado de México: PATENA AC. 1981.
- [6] R.Springal, *Hidrología*. México, D.F: UNAM,1970
- [7] G. Monsalve, *Hidrología en Ingeniería*. México: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995
- [8] C. A. Ortiz, & H. Cuanalo de la Cerda, *Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo (la cartografía de tierras erosionadas)*. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados,1977
- [9] *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)*, ( Ortofotos Digitales blanco y negro, resolución 1.5, datum ITRF 92, Proyección UTM. Abril de 1999)
- [10] *Consejo Estatal de Población (COESPO)*, Cuaderno Estadístico del Estado de México. Gobierno del Estado de México. [Online]. Available : <https://goo.gl/zsQ8eH>

# Desenvolvimento radicular e folhar do milho (*zea mays*) sob diferentes tipos de subsolagem

## Radicular development and corn leaf (*zea mays*) under different types of subsolation

Paulo Henrique Conte<sup>1</sup>, David Peres da Rosa<sup>2</sup>, Alisson Alves<sup>3</sup>,  
Artur Zancan<sup>4</sup>, Junior Verardi<sup>5</sup>

---

Conte, P; Peres da Rosa, D; Alves, A; Zancan, A; Verardi, J. Desenvolvimento radicular e folhar do milho (*zea mays*) sob diferentes tipos de subsolagem. *Tecnologia em Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 64-70.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4261>

1 Acadêmicos do curso Bacharel em Agronomia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – Campus Sertão, Sertão - RS, Bolsista PIBIT-CNPq/IFRS, Núcleo de Estudos em Solos e Máquinas Agrícolas (NESMA), Brasil. E-mail: pauloconte20@gmail.com

2 Eng. Agríc., Prof. Dr do IFRS – Campus Sertão, Sertão – RS, NESMA, Brasil. E-mail: david.darosa@sertao.ifrs.edu.br

3 Eng. Agrônomo, Brasil. E-mail: alisonalvesagro@gmail.com

4 Acadêmicos do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – Campus Sertão, Bolsista BIC-TES/IFRS, NESMA, Brasil. E-mail: zancan.artur@gmail.com

5 Acadêmicos do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – Campus Sertão, Bolsista BIC-TES/IFRS, NESMA, Brasil. E-mail: junior.verardi@hotmail.com



## Palavras-Chave

Produtividade; massa seca de raiz; altura de planta.

## Resumo

Os fatores fisiológicos que determinam a produtividade de uma cultura são influenciados pela compactação do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar através da técnica de agricultura de precisão (AP) o efeito de dois tipos de subsolador no desenvolvimento do milho e na resistência de um Nitossolo Vermelho à penetração. O experimento foi realizado em 3 talhões de 0,5 ha cada, tendo como tratamentos: cultivo mínimo com subsolador dotado de disco de corte e rolo destorroador (CMd), cultivo mínimo com subsolador convencional (CMc) e sistema plantio direto (SPD) como testemunha. Foram mensurados a resistência mecânica média do solo à penetração (RP) de 0,0-0,30 m, altura de planta, massa seca e produtividade do milho, estes através de uma malha amostral de 6 pontos por talhão. A RP media variou de 0,51-2,01 MPa no CMc, contra 1,26-1,76 MPa do CMd, já o SPD oscilou de 1,01-1,76 MPa. A altura de plantas foi melhor nos cultivo mínimo, sendo que no CMd variou de 1,87-2,09 m, contra de 1,65-2,09m no CMc, e 1,76-1,98m, demonstrado melhores condições para o CMd. A massa seca de raiz foi menor no SPD, 30-60g planta<sup>-1</sup>, CMd houve aumento no limite inferior, demonstrando variação de 40-60g planta<sup>-1</sup>, e aumento no CMc, de 30-70 g plantas<sup>-1</sup>. A produtividade do milho foi maior no CMd, seguido do CMc e SPD, sendo variação de 10,2 a 17,7 Mg ha<sup>-1</sup>, a 8,70-17,70 Mg ha<sup>-1</sup>, e 8,7 a 11,7 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, demonstrando que o subsolador com disco gera melhores condições para o desenvolvimento do milho.

## Keywords

Productivity; root dry mass; plant height.

## Abstract

The physiological factors that determine the productivity of a crop are influenced by soil compaction. The objective of this work was to evaluate the effect of two types of subsoil in the development of corn and the resistance of a Red Nitosol to penetration. The experiment was carried out in 3 plots of 0,5 ha each, with treatments: minimum cultivation with subsoiler equipped with cutting disc and ripper roller (CMd), minimum cultivation with conventional subsoiler (CMc) and no-tillage system (SPD) as witness. The mean mechanical strength of the soil at the penetration (RP) of 0-0,30 m, plant height, dry mass and maize productivity were measured through a sample mesh of 6 points per plot. Mean RP ranged from 0,51-2,01 MPa in CMc, versus 1,26-1,76 MPa in CMd, while SPD ranged from 1,01-1,76 MPa. The height of plants was better in the minimum cultivation, and in CMd ranged from 1,87-2,09 m, compared to 1,65-2,09 m in CMc, and 1,76-1,98 m, demonstrated better conditions for CMd. The root dry mass was lower in SPD, 30-60 g plant<sup>-1</sup>, CMd increased in the lower limit, showing a variation of 40-60 g plant<sup>-1</sup>, and an increase in CMc, of 30-70 g plants<sup>-1</sup>. Maize productivity was higher in CMd, followed by CMc and SPD, ranging from 10,2 to 17,7 Mg ha<sup>-1</sup>, at 8,70-17,70 Mg ha<sup>-1</sup>, and 8,7 to 11,7 Mg ha<sup>-1</sup> respectively, demonstrating that the disc subsoiler generates better conditions for corn development.

## Introdução

A descompactação mecânica do solo é uma das práticas mais usadas pelos produtores agrícolas, tendo em vista que esta atividade rompe a camada compactada do solo em que há o desenvolvimento radicular das culturas, desta maneira propicia menor resistência favorecendo o desenvolvimento das raízes, foliar e conseqüentemente o aumento da produtividade. Os problemas de compactação estão associados a condições de impedimento físico quando os solos apresentarem resistência mecânica à penetração (RP) maior que 2 MPa [10]. A compactação influencia no crescimento das raízes em função de alteração do arranjo estrutural do solo, bem como, da redução da porosidade total, do número e tamanho dos poros e da difusão dos gases [14]. Diante disso, a subsolagem é uma alternativa a qual [9] afirmam que as raízes exploram maior volume de solo no perfil, maior densidade e melhor distribuição das mesmas, favorecendo um ambiente mais favorável ao crescimento radicular.

Atualmente encontrasse disponível no mercado agrícola duas configurações de subsoladores, sendo um deles composto de chassi, roda delimitadora, haste e ponteira [8], já o outro é equipado a mais com disco de corte de palha e rolo destorroador, tendo com função a redução da incorporação de palhada, mantendo a cobertura na superfície do solo evitando assim processos erosivos. Comparando estes [11] observaram que o primeiro incorporou 75% da palha, contra 25% do segundo. A mobilização superficial do solo é outra consequência da subsolagem, está provoca maior índice de rugosidade, oferecendo melhores condições conservacionistas para o solo, contudo pode dificultar operações de semeadura e colheita [3]. Nos estudos de [1] demonstraram que o primeiro mobilizou/elevou de 590 a 1850 cm<sup>2</sup> de solo e o segundo apresentou variação menor de 275 a 1220 cm<sup>2</sup> afirmando que o segundo provoca menos rugosidade. Diante disso o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de dois tipos de subsoladores no solo e no desenvolvimento do milho em Nitossolo Vermelho.

## Materias e métodos

O experimento foi conduzido em solo classificado como Nitossolo Vermelho [13], ou Oxisol Udic [12], anteriormente manejado com sistema plantio direto há 20 anos, localizado na área agrícola do IFRS – *campus* Sertão, instalado no ano de 2016, sobre a cobertura existente era de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) com massa seca de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>. As áreas experimentais constaram de 3 talhões de 0,5 ha, para qualificação dos parâmetros avaliadores confeccionou-se um *grid* amostral de 6 pontos por talhão, onde dois deles foram subsolado com subsoladores: subsolador 1 - composto por chassi, roda delimitadora, 7 hastes curva de ponteira estreita; subsolador 2 – composto além do anterior de disco de corte de palha e rolo destorroador (figura 1), o terceiro talhão foi manejado com sistema plantio direto (testemunha).

Para avaliação do solo foi mensurado a resistência mecânica do Nitossolo Vermelho à penetração (RP), sendo realizada no período de pleno florescimento da cultura de milho (*Zea mays* L.). Para tal foi utilizado o penetrômetro eletrônico PenetroLog, da marca Falker®, sendo utilizado a RP média da camada 0-0,30 m. A massa seca de raízes foi quantificada através da coleta de quarto plantas na floração da cultura, no mesmo momento quantificou-se a altura de plantas, já a produtividade coletou-se 5 metros lineares de cada ponto quando a cultura estava em maturação fisiológica.

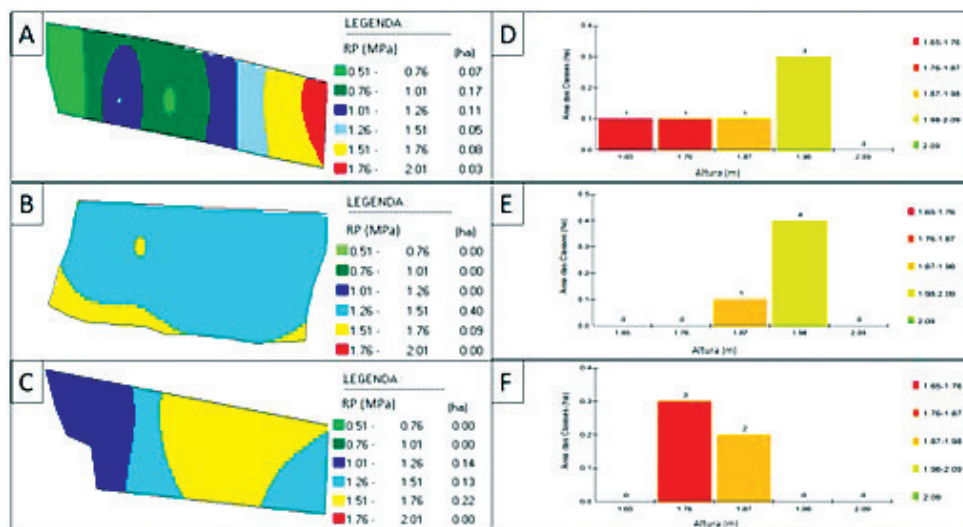
Os pontos amostrais foram identificados e localizados através da utilização do GNSS Garmin® modelo Etrex 20, a confecção da malha amostral e mapas de agricultura de precisão foram feitos utilizando o software Campeiro7®, na estruturação dos modelos digitais de terreno foi utilizado o interpolador Kriggagem – Semi variograma linear, espaçamento entre linhas e colunas de 1 e raio de pesquisa de 150 metros.



**Figura 1.** Subsolador empregado para subsolagem, A) subsolador convencional; B) subsolador com disco de corte de palha e rolo destorroador.

## Resultados e discussões

Observou-se que a RP média da camada 0 a 30 cm (figura 2) para o sistema plantio direto (SPD) concentrou nas classes 3, 4 e 5, onde apresenta RP de 1,01 a 1,76 MPa, já para no subsolador 2 concentrou nas classes 4 e 5, variando de 1,26 a 1,79 MPa, e no subsolador 1 houve variação em todas as classes desde 0,51 a 2,01 MPa, apontando para uma variabilidade espacial maior deste parâmetro por esse tipo de subsolador. Restrição de resistência (>2,0 MPa) há apenas em 0,03ha no SPD, ou seja, 0,06%. Os dados mostram que a RP no geral foi reduzida com ação dos subsoladores. Em estudo de [16], [5], [15] os solos manejados pela subsolagem apresentam menores RP quando comparados a SPD, neste estudo, provavelmente o solo em SPD não estava com problemas de compactação.





Na (figura 2D) demonstra que a variação que houve da RP na área gerou variação na altura de plantas, sendo que nas 3 primeiras classes, de 1,5 a 1,98 m (metros), houve a mesma quantidade de área, contudo, a quarta classe representou maior área com 0,3ha ou 58,82% da área apresentando variação de 1,8 a 2,09 m entre as plantas. Para a (figura 2E) concentrou nas 3° e 4° classes alterando de 1,87 a 2,09 m, deste 80 % corresponde a quarta e 20% para terceira, significando que o trabalho do subsolador de disco é mais uniforme o que também ocorreu em relação resistência media a penetração. Contudo, no SPD (figura 2F) observou-se que o desenvolvimento estrutural das plantas foram limitados a dois classes a 2° e 3°, com maior área na primeira com 0,3ha e 0,2ha para a segunda, confirmando que áreas subsolador o crescimento da cultura é superior ao sistema de plantio direto, condizendo com dados encontrados por [4] ao qual encontraram plantas maiores em solo revolvido do que em SPD, mas não foi significativo.

A massa seca de raiz para o subsolador 1 (figura 3A) oscilou de 30 a 70 g p<sup>-1</sup> (gramas/planta) estando em todas classes, porém com maior predominância na primeira, de 30 a 40 g p<sup>-1</sup> em 49,01% da área. No manejo (figura 3B) com o emprego do subsolador 2 houve maior homogeneidade da área, em que 95% concentrou na segunda classe variando de 40 a 50 g p<sup>-1</sup> totalizando 0,47ha, reflexo da baixa variabilidade da resistência, e da altura de plantas. No SPD (figura 3C) variou de 30 a 60 g p<sup>-1</sup>, sendo que a maior área se manifestou também na segunda classe com 54% ou, seja 0,27ha, 8% na terceira e 38% para a primeira totalizando 0,19 há. Tal fato está em acordo com [2] que obtiveram valores maiores no solo revolvido do que do plantio direto, contudo não apresentando diferença estatística.

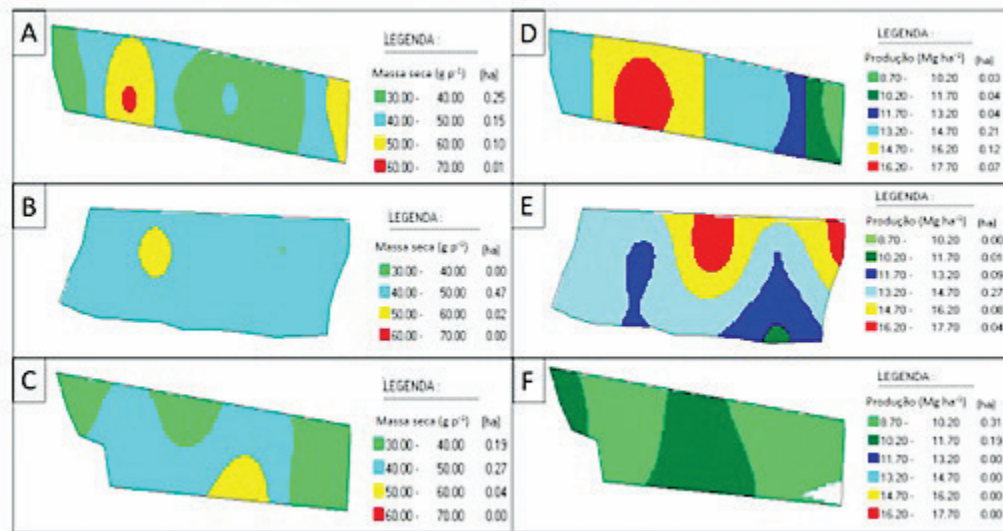
O efeito da variabilidade da resistência imposta pelo subsolador 1 resultou em efeitos na produtividade do milho (figura 3D) em que apresenta variação em todas as classes de 8,70 a 17,70 Mg ha<sup>-1</sup>, destas a 4° e 5° apresentaram maiores áreas com 0,21ha entre 13,20 a 14,70 Mg ha<sup>-1</sup> e 0,12ha dentre 14,70 a 16,20 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, a 2° variando de 10,20 a 11,70 Mg ha<sup>-1</sup> e 3° de 11,70 a 13,20 Mg ha<sup>-1</sup> apresentaram a mesma quantidade 0,04ha contudo a classe de menor produtividade 8,70 a 10,20 Mg ha<sup>-1</sup> correspondeu a 0,03ha, já a maior produtividade encontrou-se em 0,07ha com variação de 16,20 a 17,70 Mg ha<sup>-1</sup>. No subsolador 1 houve aumento da produtividade, pois 78,43% ficou entre a 4 a 6ª classe, de 13,2 a 17,7 Mg ha<sup>-1</sup>. No subsolador 2 ainda foi inferior ao 1 na produtividade final. Os efeitos encontrados no SPD, menor altura de planta, oscilação maior da RP resultou na queda da produtividade, concentrando-se nas duas primeira classes com variação máxima entre 8,70 a 11,70 Mg ha<sup>-1</sup>, 62% da área estava na classe de menor produtividade e o restante 38% na segunda menor classe. Tal condição está em acordo com [6], [7], que a produtividade foi superior em solos subsolados do que em plantio direto.

## Conclusões

A resistência media a penetração é menor em ambos tratamentos com subsolagem quando comparada ao manejo de plantio direto, sendo que o subsolador com disco e rolo destorroado apresenta trabalho mais homogêneo quando comparado ao convencional.

O subsolador dotado de disco de corte de palha e rolo destorrador proporciona menor variabilidade da altura de plantas e massa seca de raiz, bem como, resulta em aumento da produtividade.

Ambos tipos de subsolador aumentam a produtividade quando comparado ao sistema plantio direto.



**Figura 3.** Variabilidade espacial de massa seca de raiz em Mg ha<sup>-1</sup> no subsolador 1 (A), no subsolador 2 (B) e no sistema plantio direto (C); e a produtividade de milho (Mg ha<sup>-1</sup>) no subsolador 1 (D), no subsolador 2 (E) e no sistema plantio direto (F).

## Referencias

- [1] A. Alves, et al. *Técnicas de agricultura de precisão para qualificar a mobilização superficial de suboladores*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, nº 46, Maceió-AL. 2017.
- [2] I. Bordin, et al. *Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional*. Pesq. agropec. Bras., vol. 43, no. 12, pp. 1785-1792, dez., 2008.
- [3] A. Carvalho Filho, et al. *Mobilização de um Latossolo vermelho acríferico em função de sistemas de preparo do solo*. Biosci. J., vol. 24, no. 3, pp. 1-7, July/Sept., 2008.
- [4] M. D. Carvalho, et al. *Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional*. Pesq. agropec. bras., vol. 39, no. 1, pp. 47-53, jan., 2004.
- [5] C. de Maria, O. M. D. Castro e H. Souza Dias. *Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo*. R. Bras. Ci. Solo, vol. 23, pp. 703-709, 1999.
- [6] R. L. Raper. *Agricultural traffics impacts on soil*. Journal Terramechanics, vol. 42, no. 3, pp. 259-280, jul./out., 2005.
- [7] D. P. da Rosa, et al. *Demanda de tração e propriedades físicas de um Argissolo em diferentes manejos e intensidades de tráfego*. Pesq. agropec. bras., vol. 47, no. 1, pp. 118-126, jul./out., 2012.
- [8] D. P. da Rosa, et al. *Esforços e mobilização provocada pela haste sulcadora de semeadora, em Latossolo escarificado em diferentes épocas*. Pesq. agropec. bras., vol. 43, no. 3, pp. 396-400, mar., 2008.
- [9] J. Seixas, G. Roloff e R. Ralisch. *Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto*. Ciência Rural, vol. 35, no. 4, pp. 794-798, jul./ago., 2005.
- [10] A. P. Silva, C. A. Tormena, S. Imhoff. Intervalo hídrico ótimo. In: M. H. Moraes, M. M. L. Müller, J. S. S. Foloni. *Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo*. 1. ed. Jaboticabal: Funep, 2002. cap. 1, pp. 1-18.
- [11] C.C. Santos, et al. *Subsolador com disco de corte de palha x subsolador convencional: manutenção da palha e condição física de um solo sob plantio direto*. RAMVI, vol. 1, no. 1, pp. 01-09, jan./jun., 2014.
- [12] SOIL SURVEY STAFF. *Keys to Soil Taxonomy*. 13ed. United States Department of Agriculture, Washington, DC. 2013.

- [13] E. V. Streck, et al. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2008.
- [14] H. M. Taylor e G. S. Brar. *Effect of soil compaction on root development*. *S. Till. Res.*, vol. 19, pp. 111-119, fev., 1991.
- [15] A. Tormena, et al. *Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo*. *Sci. Agric.*, vol. 59, no. 4, pp. 795-801, out./dez., 2002.
- [16] S. H. Watanabe. *Caracterização da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes sistemas de preparo*. Dissertação Mestrado - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2001.

# Cinética de secagem de folhas de fumo e suas propriedades termodinâmicas

## Drying kinetics of tobacco leaves and its thermodynamic properties

Gabriel H. H. Oliveira<sup>1</sup>, Paulo C. Corrêa<sup>2</sup>, Ana P. L. R. Oliveira<sup>3</sup>,  
Fernando M. Botelho<sup>4</sup>, Silvia C. Botelho<sup>5</sup>

---

Oliveira, G; Corrêa, P; Oliveira, A; Botelho, F; Botelho, S.  
Cinética de secagem de folhas de fumo e suas propriedades termodinâmicas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 71-77.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4262>



- 1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Manhuaçu, Manhuaçu-MG, Brasil. [gabriel.oliveira@ifsudestemg.edu.br](mailto:gabriel.oliveira@ifsudestemg.edu.br)
- 2 Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: [copace@ufv.br](mailto:copace@ufv.br)
- 3 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Manhuaçu, Manhuaçu-MG, Brasil. E-mail: [ana.lelis@ifsudestemg.edu.br](mailto:ana.lelis@ifsudestemg.edu.br)
- 4 Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop-MT, Brasil. E-mail: [fernando\\_eaa@yahoo.com.br](mailto:fernando_eaa@yahoo.com.br)
- 5 Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop-MT, Brasil. E-mail: [silvia.campos@embrapa.br](mailto:silvia.campos@embrapa.br)

## Palavras-chave

*Nicotiana tabacum* L.; modelagem matemática; entalpia; energia de ativação.

## Resumo

As atividades pós-colheita têm a finalidade de prevenir e minimizar as perdas que ocorrem durante a comercialização dos produtos agrícolas, com destaque para a secagem. O presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades termodinâmicas e analisar a cinética de secagem de folhas de fumo em diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem. As folhas foram secadas com velocidade do ar a 0,5 e 1,0 m s<sup>-1</sup> e temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Cinco modelos matemáticos usualmente utilizados para a representação do processo de secagem de produtos agrícolas foram ajustados aos dados experimentais. Os resultados indicam que a secagem das folhas de fumo é dependente da velocidade e temperatura do ar de secagem, em que maiores temperaturas e velocidades do ar de secagem levam a um menor tempo requerido para se atingir o teor de água de equilíbrio. O modelo de Midilli modificado foi o que melhor representou o fenômeno de secagem das folhas de fumo, de acordo com parâmetros estatísticos. Para uma velocidade do ar de secagem constante, a entalpia e entropia decrescem com o aumento da temperatura do ar de secagem, ao passo que a energia livre de Gibbs aumenta. A velocidade do ar de secagem impacta significativamente na energia requerida no processo, em que incrementando a velocidade do ar de secagem de 0,5 para 1,0 m s<sup>-1</sup> decresce a energia de ativação, de 63,65 para 55,22 kJ mol<sup>-1</sup>.

## Keywords

*Nicotiana tabacum* L., mathematical modeling, enthalpy, activation energy.

## Abstract

Post harvest activities has the goal to prevent and minimize losses that occurs during commercialization of agricultural products, notability drying. The present work had the objective to determine the thermodynamic properties and evaluate the drying kinetics of tobacco leaves in different temperatures and air velocities of the drying air. Leaves were dried at air velocities of 0.5 and 1.0 m s<sup>-1</sup> and temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C. Five mathematical models usually used to represent the drying process of agricultural products were fitted to the experimental data. Results indicates that drying of tobacco leaves is dependent of velocity and temperature of the drying air, in which higher temperatures and air velocity leads to a lower time required to reach the equilibrium moisture content. The Modified Midilli model best represented the drying of tobacco leaves, according to statistical parameters. At a constant drying air velocity, enthalpy and entropy decreased along with increment of drying air temperature, whilst Gibbs free energy increases. Drying air velocity significantly impacts in the energy required for the process, in which increasing this parameter from 0.5 to 1.0 m s<sup>-1</sup>, decreases the activation energy, from 63.65 to 55.22 kJ mol<sup>-1</sup>.

## Introdução

Os produtos agrícolas passam por diferentes procedimentos pós-colheita, destacando-se a secagem. Este procedimento é indispensável para a conservação desses produtos e sua posterior utilização, tendo em vista que a redução do teor de água a níveis seguros inibe o ataque de fungos e insetos.

A literatura científica não possui dados que auxiliem na predição de qual o teor de água que as folhas de fumo terão, em função da temperatura e velocidade do ar de secagem empregados. A simulação do comportamento durante esta redução do teor de água é um importante parâmetro no desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos de secagem, e para tal utiliza-se modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente sua perda de água.

Em conjunto com o comportamento do teor de água ao longo da secagem, as propriedades termodinâmicas fornecem informações úteis com relação às interações entre as moléculas de água e os componentes que compõem o produto. Esse conhecimento auxilia no desenvolvimento e melhoria de secadores, possibilitando o cálculo da energia requerida durante a secagem e uma melhor compreensão das propriedades da água na superfície de alimentos [1].

Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem de folhas de fumo e o fato de não haver na literatura especializada estudos termodinâmicos desse processo, este trabalho objetivou obter as curvas de secagem de folhas de fumo através da modelagem matemática, bem como obter as propriedades termodinâmicas relacionadas ao processo de secagem.

## Materiais e métodos

O presente trabalho foi realizado em dois locais: Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas no Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem – CENTREINAR, localizado no *Campus* da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Brasil; Laboratório de Pós-Colheita localizado no *Campus* Manhuaçu do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu – MG, Brasil.

Foram utilizadas folhas de fumo (*Nicotiana tabacum* L.), de plantio experimental localizado no *Campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), coletadas utilizando tesoura de lâminas de aço inoxidável. A coleta foi realizada pela manhã, entre 7 e 8 h, quando foram identificadas a presença de manchas necróticas nas folhas, sendo que o corte realizado 2 cm acima da superfície do solo. Após a colheita, o material foi encaminhado ao laboratório e foi realizada a limpeza e seleção manual, de modo a prevenir a presença de partes atacadas por doenças ou pragas, qualquer outro vegetal ou material estranho, como também as partes velhas e secas.

O teor de água inicial do produto foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando-se estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 h, até massa constante, em três repetições [2]. O teor de água inicial médio das folhas de fumo foi de 4,75 base seca (b.s.). A secagem do produto foi realizada em quatro temperaturas do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C) e duas velocidades do ar de secagem (0,5 e 1,0 m s<sup>-1</sup>). Foram utilizados cerca de 1 kg da meeira da parte aérea das plantas para cada teste experimental (temperatura/velocidade) com cinco repetições. Para fins de modelagem matemática, considerou-se a secagem das folhas de fumo até que o produto atingisse o teor de água de 0,13 (b.s.), aproximadamente, estabelecido como ponto final da secagem.

Para a determinação das razões do adimensional de umidade (RU) das folhas de fumo, durante a secagem, nas diferentes condições de temperatura do ar, foi utilizada a equação 1:

$$RU = \frac{U^* - U_e^*}{U_i^* - U_e^*} \quad (1)$$

em que: RU é o adimensional de umidade;  $U^*$  é o teor de água do produto no tempo  $t$  (kg água/kg de folha de fumo seca);  $U_e^*$  é o teor de água de equilíbrio do produto; e  $U_i^*$  é o teor de água inicial do produto, quantificados em base seca.



Cinco modelos propostos na literatura foram utilizados para prever a cinética da secagem de folhas de fumo: Aproximação da Difusão, Henderson e Pabis, Logaritmo, Midilli modificado e Thompson (tabela 1).

**Tabela 1.** Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem.

Nome do modelo	Modelo	Equação
Aproximação da Difusão [3]	$RU = aexp(-kt) + (1 - a)exp(-kbt)$	(2)
Henderson e Pabis [4]	$RU = aexp(-kt)$	(3)
Logaritmo [5]	$RU = aexp(-kt) + b$	(4)
Midilli Modificado [6]	$RU = aexp(-kt^c) + bt$	(5)
Thompson [7]	$RU = exp\{-a - (-a^2 + 4bt)^{0,5}\}/2b\}$	(6)

a, b, c são coeficientes dos modelos, adimensionais; k é a constante de secagem, s<sup>-1</sup>; t é o tempo, s.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi realizada análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton, utilizando-se do “software” STATISTICA 8.0®. A escolha do melhor modelo baseou-se em parâmetros estatísticos: o desvio padrão da estimativa (SE), o erro médio relativo (MRE), Equações 7 e 8, respectivamente, em conjunto com o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) [1]:

$$MRE = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (7)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GL}} \quad (8)$$

em que: MRE = erro médio relativo, %; n = número de dados observados; Y = valor observado;  $\hat{Y}$  = valor estimado pelo modelo; SE = desvio padrão da estimativa, % d.b.; e, GL = graus de liberdade do modelo.

A energia de ativação da cinética de secagem foi calculada pela equação de Arrhenius, em que demonstra a relação entre a energia de ativação e a velocidade em que a reação ocorre. A obtenção das propriedades termodinâmicas do processo de secagem dos frutos de café foi realizada através do método descrito por Jideani & Mpotokwana [8]:

$$\Delta H^* = E_a - RT \quad (9)$$

$$\Delta S^* = R \left( \ln A_0 - \ln \frac{k_B}{h_p} - \ln T_K \right) \quad (10)$$

$$\Delta G^* = \Delta H^* - T\Delta S^* \quad (11)$$

em que  $\Delta H^*$ : entalpia, J mol<sup>-1</sup>;  $\Delta S^*$ : entropia, J mol<sup>-1</sup>;  $\Delta G^*$ : energia livre de Gibbs, J mol<sup>-1</sup>; kB: constante de Boltzmann, 1,38 x 10<sup>-23</sup> J K<sup>-1</sup>; hP: constante de Planck, 6,626 x 10<sup>-34</sup> J s<sup>-1</sup>.

## Resultados e discussão

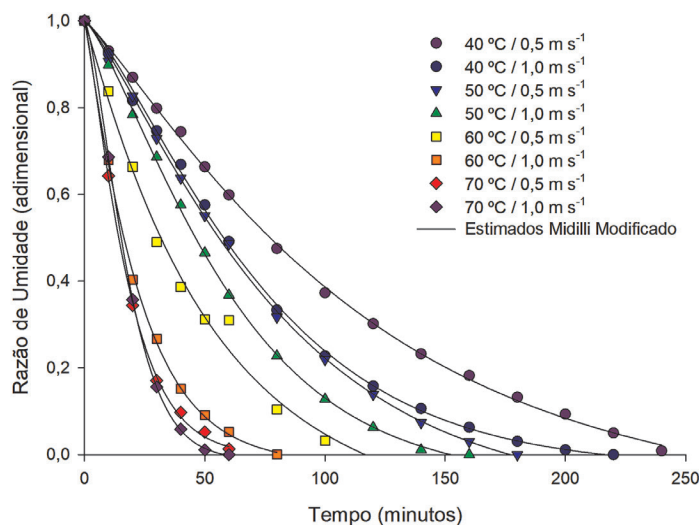
Valores inferiores a 10% de erro médio relativo indicam um bom ajuste para fins práticos e a capacidade de um modelo para descrever com fidelidade um determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do erro padrão da estimativa (SE). Dentre os modelos avaliados, o de Midilli Modificado foi o único que apresentou valores de MRE abaixo de 10 %, assim como menores valores de SE, variando de 1,45 % a 8,28 % (MRE) e 0,01 a 0,06 % b.s. (SE). Os demais modelos não foram adequados para representar a secagem de folhas de fumo por terem valores maiores de 10 % de MRE (dados não apresentados). Outros trabalhos também concluíram que o modelo de Midilli Modificado foi o mais adequado para representar a secagem, como para folhas de capim-limão [9] e folhas de juazeiro [10]. A tabela 2 apresenta os parâmetros do modelo de Midilli Modificado.

**Tabela 2.** Parâmetros de ajuste do modelo de Midilli Modificado para predizer o fenômeno de secagem das folhas de fumo.

T (°C)	v (m s <sup>-1</sup> )	PARÂMETROS		
		k	n	b
40	0,5	0,004030	1,171016	-0,000260
40	1,0	0,003431	1,303883	-0,000103
50	0,5	0,004253	1,251915	-0,000353
50	1,0	0,004281	1,318428	-0,000259
60	0,5	0,017389	1,047778	-0,000671
60	1,0	0,032137	1,095181	-0,000187
70	0,5	0,027359	1,217357	0,000004
70	1,0	0,013476	1,444334	-0,000144

De acordo com a figura 1, que relata as curvas de secagem das folhas de fumo, nota-se que quanto maior a temperatura de secagem, menor o tempo necessário para a secagem, em razão da maior taxa de secagem. No início da secagem observa-se que a taxa de secagem é constante e que a partir de aproximadamente 30 minutos esta taxa começou a decrescer.

Aumentando-se a velocidade para 1,0 m s<sup>-1</sup>, as curvas de secagem em menores temperaturas se assemelham à curva com a próxima temperatura e na menor velocidade do ar. Por exemplo, a curva de secagem de 40 °C a 1,0 m s<sup>-1</sup> está próxima à curva de 50 °C e 0,5 m s<sup>-1</sup>, e assim sucessivamente. Essa similaridade se torna menos pronunciada ao final da secagem (RU < 0,1). Entretanto, a 70 °C, não houve diferença significativa entre as curvas de secagem com diferentes velocidades do ar de secagem, indicando que a partir dessa temperatura a velocidade do ar, ou seja, aumento do número de Reynolds, Nusselt e o coeficiente convectivo de transferência de calor, se torna um parâmetro menos importante para a secagem [11].



**Figura 1.**

As energias de ativação do processo de secagem foram de 63,65 e 55,22 kJ mol<sup>-1</sup> para velocidade do ar de 0,5 e 1,0 m s<sup>-1</sup>. Menores valores indicam que há uma maior difusividade de água no produto, ou seja, a barreira é menor para a saída de umidade, no caso de secagem.

Para velocidade do ar de secagem constante, a entalpia aumentou com o decréscimo de temperatura. O presente trabalho apresentou, como esperado, menor valor de entalpia para temperaturas maiores de secagem, indicando que uma menor quantidade de energia é requerida para que a secagem ocorra em altas temperaturas. Os valores de entalpia do processo de secagem de folhas de fumo à velocidade de 0,5 m s<sup>-1</sup> foram de 61,05; 60,97; 60,88 e 60,80 kJ mol<sup>-1</sup> para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. À velocidade de 1,0 m s<sup>-1</sup>, a entalpia foi de 52,61; 52,53; 52,44 e 52,36 kJ mol<sup>-1</sup> para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Nota-se pelos valores que a velocidade do ar interfere na quantidade de energia necessária para remover a água, em que a maior velocidade permite uma maior economia de energia.

A energia livre de Gibbs aumentou com o aumento da temperatura, sendo que seus valores foram positivos, indicando que a secagem nas condições do presente trabalho é não-espontânea. O valor positivo da energia livre de Gibbs é característico de uma reação endergônica, em que requer uma adição de energia proveniente do meio em que o produto está envolvido para que ocorra a reação. Os valores encontrados foram de 89,18; 90,08; 90,98 e 91,89 kJ mol<sup>-1</sup> para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C a 0,5 m s<sup>-1</sup>, respectivamente, e 88,97; 90,13; 91,29 e 92,46 kJ mol<sup>-1</sup> a 1,0 m s<sup>-1</sup>.

A entropia é uma grandeza termodinâmica associada ao grau de desordem, sendo uma função de estado em que seus valores aumentam durante um processo natural em um sistema isolado. Os valores encontrados no presente trabalho para entropia foram de -89,83; -90,09; -90,34 e -90,59 kJ mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, a 0,5 m s<sup>-1</sup>. Para a secagem a 1,0 m s<sup>-1</sup>, os valores foram de -116,09; -116,35; -116,61 e -116,85 kJ mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Analisando o comportamento da entropia, conclui-se que esta apresentou um comportamento similar à entalpia, em que os valores obtidos aumentaram com a diminuição da temperatura. Este fato é esperado, uma vez que a diminuição da temperatura acarreta em menor excitação das moléculas de água, resultando num aumento da ordem do sistema água-produto. Os valores negativos são atribuídos à existência de adsorção química e/ou modificações estruturais do adsorvente [12].

## Conclusões

O modelo de Midilli modificado foi o único que representa de forma adequada a secagem de folhas de fumo, em que quanto maior a temperatura, menor o tempo requerido para a secagem. A velocidade do ar de secagem apresentou influência sobre a taxa de secagem, com exceção quando se trabalhou com a temperatura de 70 °C. A entalpia decresceu com o aumento da temperatura, assim como a entropia. A energia livre de Gibbs diminuiu com a diminuição de temperatura, sendo que a secagem nas condições empregadas é não-espontânea.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Fapemig e ao IF Sudeste MG – *Campus* Manhuaçu pelo imprescindível suporte e ajuda financeira.

## Referências

- [1] P. C. Corrêa, G. H. H. Oliveira, E. S. Santos, *Thermodynamic properties of agricultural products processes*, in *Physical properties of foods: Novel measurement techniques and applications*. Boca Raton: CRC Press, 2012, pp. 131-141.
- [2] Brasil, *Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005.
- [3] A. S. Kassem, "Comparative studies on thin layer drying models for wheat," in *International Congress on Agricultural Engineering*, Rabat, 1998, pp. 2-6.
- [4] S. M. Henderson and S. Pabis, "Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient," *J. Agr. Eng. Research*, v. 6, pp. 169-174, 1961.
- [5] P. K. Chandra and R. P. Singh, *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- [6] A. Ghazanfari, S. Emami, L. G. Tabil, S. Panigrahi, "Thin-layer drying of flax fiber: II. Modeling drying process using semi-theoretical and empirical models," *Drying Technol.*, v. 24, n. 12, pp. 1637-1642, 2006.
- [7] T. L. Thompson, R. M. Peart, G. H. Foster, "Mathematical simulation of corn drying: a new model," *Transaction of the ASAE*, v. 11, n. 04, pp. 582-586, 1968.
- [8] V. A. Jideani and S. M. Mpotokwana, "Modeling of water absorption of botswana bambara varieties using Peleg's equation," *J. Food Eng.*, v. 92, n. 2, pp. 182-188, 2009.
- [9] A. P. Martinazzo, P. C. Corrêa, O. Resende, E. C. Melo, "Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão," *Rev. Bras. Eng. Agropecuária*, v. 11, n. 3, pp. 301-306, 2007.
- [10] F. C. Sousa, J. J. A. Martins, A. P. T. Rocha, J. P. Gomes, T. Pessoa, J. N. Martins, "Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart.," *Rev. Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 17, n. 2, pp. 195-200, 2015.
- [11] D. R. Reis, P. Santos, F. S. Silva, A. G. Porto, "Influência das características do ar na cinética de secagem de pimenta variedade bico," *Brazilian J. Food Technol.*, v. 18, n. 2, pp. 146-154, 2015.
- [12] R. Moreira, F. Chenlo, M. D. Torres, N. Vallejo, "Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits," *J. Food Eng.*, v. 88, n. 4, pp. 514-521, 2008.

# Simulación numérica del comportamiento térmico de un macro túnel utilizado para la producción de hongos comestibles bajo condiciones de clima tropical

## Numeric simulation of macrotunnel greenhouse thermic behavior used for edible mushrooms under tropical weather conditions

Sebastian Montaña-Rodríguez<sup>1</sup>, Edwin Andrés Villagrán-Munar<sup>2</sup>,  
David Felipe Osorio-Fiaga<sup>3</sup>, Carlos Ricardo Bojacá-Aldana<sup>4</sup>,  
Wilmer Leonardo Velásquez-Vargas<sup>5</sup>

Montaña-Rodríguez, S; Villagrán-Munar, E; Osorio-Fiaga, D; Bojacá-Aldana, C; Velásquez-Vargas, W. Simulación numérica del comportamiento térmico de un macro túnel utilizado para la producción de hongos comestibles bajo condiciones de clima tropical. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 78-85.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4263>

1 Estudiante de Ingeniería Agrícola, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia. Correo electrónico: smontanor@unal.edu.co

2 Ingeniero Agrícola, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Sede Cundinamarca, Colombia. Doctorado en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad, Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: evillagranm@uniminuto.edu.co

3 Estudiante de Ingeniería Agrícola, Fundación Universitaria de San Gil (Unisangil) Sede Yopal, Colombia. Correo electrónico: davidfelipeosorio@unisangil.edu.co

4 Ingeniero Agrónomo, Departamento de Ciencias Básicas y Modelado, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: carlos.bojaca@utadeo.edu.co

5 Ingeniero Agrícola, Fundación Universitaria de San Gil (Unisangil) Sede Yopal, Colombia. Correo electrónico: wvelasquez@unisangil.edu.co



## Palabras clave

Dinámica de fluidos computacional; método de volúmenes finitos; ventilación natural, comportamiento térmico.

## Resumen

El estudio del comportamiento térmico de las estructuras de agricultura protegida de tipo pasivo establecidas en condiciones de clima tropical sigue siendo un aspecto relevante, esto con el fin de garantizar las condiciones micro climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En Colombia este comportamiento al igual que el del fenómeno de ventilación natural es aun poco estudiado para condiciones de clima cálido. El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento térmico y los índices de renovación de una estructura de macro túnel usada para la producción de hongos comestibles, este comportamiento se determinó a través de modelaciones numéricas CFD 3D. Los resultados obtenidos mostraron un comportamiento térmico adecuado del macro túnel para las condiciones meteorológicas predominantes de la zona de estudio. Los índices de renovación obtenidos oscilaron entre 22.5 y 45.6 renovaciones hora para los casos simulados. El modelo CFD fue validado a través de registro del valor de la variable temperatura en la estructura construida a escala real y los resultados obtenidos mostraron un ajuste adecuado entre los datos simulados y los registrados.

## Keywords

Computational fluid dynamics; finite volumes method.; natural ventilation, thermic behavior.

## Abstract

The study of the thermic behavior of protected agriculture structures passive type established on tropical weather conditions still being relevant when adequate micro climate conditions are guaranteed for growth and development of the plants. In Colombia that behavior and the natural ventilation phenomenon has not been studied for warm weather conditions. The goal of this study is to determine the thermic behavior and the macro tunnel structure renovation for edible fungus index, which was determined through numeric models CFD 3D. The results obtained gave an adequate thermic behavior on the macro tunnel for the predominant meteorological conditions on site. The obtained renovation index oscillates between 22.5 and 45.6 renovations/hour for simulated cases. The CFD model was validated registering the temperature values in the structure built at full scale, the results obtained shown an adequate adjustment between simulated data and registered data.

## Introducción

A nivel mundial en las últimas cuatro décadas la agricultura protegida (AP) se ha expandido y masificado llegando a ocupar superficies aproximadas a las 4.900.000 hectáreas en donde se encuentran construidas estructuras con una amplia gama de materiales y diferentes niveles tecnológicos [1]. Donde se establecen cultivos de diversas especies hortícolas y ornamentales. Estas estructuras permite tener control parcial o total de las principales variables ambientales (luz, temperatura, humedad, nivel de  $CO_2$ ), variables que interactúan con la planta durante su ciclo de crecimiento e inciden en su rendimiento final [2]. En general existen dos métodos de control de clima, activo y pasivo, las estructuras de control activo cuentan con sistemas asociados (calefactores, refrigeradores, ventiladores, humidificadores, sistemas de iluminación



e inyección de CO<sub>2</sub>, pantallas de sombreado y térmicas). Esta serie de elementos permiten controlar las variables ambientales de interés, generando un microclima adecuado para las plantas sin importar las condiciones meteorológicas externas.

En el grupo de estructuras pasivas, predominantes en las zonas tropicales. El control de clima se realiza por medio del fenómeno de ventilación natural [3]. Este fenómeno depende de dos fuerzas impulsoras: la convección forzada o ventilación dinámica causada por la acción del viento exterior y la convección libre o ventilación térmica vía flotabilidad causada por la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior del invernadero [4]. La ventilación afecta la temperatura interna del invernadero de forma tal que en horas de alta radiación se hace necesario circular aire del exterior hacia el interior del invernadero en forma homogénea con el fin de controlar los excesos de temperatura. Este movimiento del flujo de aire debe permitir además el intercambio de masa y de calor entre las plantas del cultivo y el aire circulante en el invernadero [5]. Adicionalmente la ventilación natural es la encargada de controlar excesos de humedad y mantener los niveles de CO<sub>2</sub> en rangos cercanos al nivel presente en la atmosfera.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento térmico de un macro túnel usado para la producción de Orellana (*Pleurotus ostreatus*) a pequeña escala, en condiciones de clima tropical cálido. Esta evaluación se desarrolló mediante modelos numéricos de simulación CFD 3D, modelo posteriormente validado con la recopilación de información experimental en la estructura real.

## Materiales y métodos

### Descripción del invernadero y la zona de estudio

Para el desarrollo de este estudio se utilizó un macro túnel de 6.6 m<sup>2</sup> de superficie cubierta, ubicado en zona rural del municipio de Yopal-Casanare (45°20'51.8" N, 72°22'22.1"O). Las dimensiones generales fueron de 3, 2.2 y 2.07 m para el ancho, largo y alto respectivamente. El material de cubierta utilizado fue polietileno y el macro túnel contaba con una ventilación lateral de dimensión de 0.4 m de ancho en el costado de sotavento. Yopal está clasificada como una región cálida, con temperatura media anual superior de 24°C y humedad relativa media superior al 70%, características propias de los climas tropicales húmedos. El valor multianual de las principales variables meteorológicas se presenta en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Valores multianuales de (P: precipitación, T<sub>max<sub>a</sub></sub>: temperatura máxima absoluta, T<sub>min<sub>a</sub></sub>: temperatura mínima absoluta, T<sub>max</sub>: temperaturas máximas promedio, T<sub>min</sub>: temperaturas mínimas promedio, T<sub>med</sub>: temperaturas promedias, BS: brillo solar y HR: humedad relativa).

MEDIOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P Re(mm)	8.5	60.4	79.3	279	333.7	298	312.3	255.4	275.9	255	131.8	20.2
T <sub>max<sub>a</sub></sub> (°C)	36.6	36.2	37.2	35.4	35.4	33.2	34.4	34.2	34.4	34	34.6	34
T <sub>min<sub>a</sub></sub> (°C)	17.2	18.5	20	19	19	19	17.8	18	17	16.4	16.8	17.8
T <sub>max</sub> (°C)	32.5	33.2	33.2	31.5	30.8	29.7	29.9	30.5	30.7	30.8	31.1	31.7
T <sub>min</sub> (°C)	22.5	22.9	23.7	22.6	22.3	21.7	21.5	21.4	21.5	21.6	21.9	22.1
T <sub>med</sub> (°C)	28.15	28.75	28.47	26.65	25.75	25.1	24.9	25.43	25.97	26.24	26.72	27.24
BS (Horas/día)	8.1	6.9	5.0	4.2	4.5	4.1	4.4	4.7	5.5	5.7	6.3	7.7
HR (%)	60.24	60.71	63.95	77.74	82.40	83.95	82.74	80.85	79.79	78.45	75.71	69.35

## Arreglo numérico

La simulación numérica por la técnica CFD, permite resolver las ecuaciones gobernantes del flujo de fluidos utilizando el método de volumen finito para convertir las ecuaciones diferenciales parciales en un conjunto de ecuaciones algebraicas [6]. Estas ecuaciones pueden ser representadas como ecuaciones de convección-difusión de un fluido para tres leyes de conservación, que incluyen las ecuaciones de momento, energía y transporte de un fluido compresible y en un campo tridimensional (3D) y se expresan así:

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \nabla(\rho \phi \vec{v}) = \nabla(\Gamma \nabla \phi) + S \quad (1)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $\nabla$  es el operador nabla,  $\phi$  representa la variable de concentración,  $\vec{v}$  es el vector de velocidad ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\Gamma$  es el coeficiente de difusión ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) y  $S$  representa el término fuente (Piscia et al., 2012). Es una ecuación de continuidad cuando  $\phi$  es 1, una ecuación de energía cuando  $\phi$  es  $T$  ( $^{\circ}\text{K}$ ) y una ecuación de momento cuando  $\phi$  es  $u$ ,  $v$ ,  $w$  las velocidades en las direcciones  $x$ ,  $y$ ,  $z$  en ( $\text{m s}^{-1}$ ).

Estos conjuntos de ecuaciones fueron resueltos mediante la utilización del Software comercial ANSYS Fluent (v. 17.0). La naturaleza turbulenta del flujo de aire se simuló utilizando el modelo de turbulencia estándar  $k$ - $\epsilon$ . Este modelo ha sido el más utilizado y validado en estudios enfocados a invernaderos demostrando una precisión adecuada (Fatnassi et al., 2006; Katsoulas et al., 2006). Adicionalmente se consideraron la ecuación de energía y la aproximación de Boussinesq con el fin de evaluar el efecto térmico de la ventilación natural.

## Generación de malla

El paso inicial para el desarrollo de este trabajo consistió en la creación de dominio computacional tridimensional (3D) de gran tamaño que incluía el macro túnel evaluado, las dimensiones del dominio fueron de 102, 102 y 20 m para los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  respectivamente. El dominio computacional estuvo compuesto por una malla no estructurada de elementos cúbicos dividido en 6.780.412 volúmenes discretizados en el espacio, este número de elementos se obtuvo luego de verificar la independencia de las soluciones numéricas del flujo de aire a tamaños de malla con un número superior e inferior de elementos de acuerdo al procedimiento reportado por [10]. Esta malla se construyó empleando el paquete de cómputo ANSYS (v. 17.0). Un criterio fundamental para establecer la precisión de las soluciones obtenidas mediante CFD consiste en evaluar la calidad de la malla. Los parámetros de calidad evaluados fueron el tamaño de las celdas y la variación del tamaño de celda a celda encontrando que un 98.3% de las celdas de la malla estaban dentro del intervalo de calidad alta.

## Condiciones de frontera

El límite superior del dominio y las superficies paralelas al flujo fueron fijadas con condiciones de frontera de propiedades simétricas para no generar pérdidas de fricción del flujo de aire en contacto con estas superficies. Las simulaciones consideraron las características atmosféricas del municipio de Yopal en Casanare (350 msnm) tales como presión atmosférica de 97716 Pa y gravedad de  $9.81 \text{ ms}^{-2}$ . El límite inferior y las paredes del macro túnel se les fijó una condición de frontera de pared antideslizante, las propiedades de los materiales usados para estos límites se mencionan en el cuadro 2. El límite izquierdo y derecho del invernadero se establecieron como límites de entrada de aire o salida de presión al dominio computacional según el caso evaluar, se consideró un perfil uniforme de velocidad del viento evaluando velocidades por debajo de valores de  $0.2 \text{ m s}^{-1}$  y valores de temperatura para S1, S2 y S3 de 21.4, 28.7 y 37.2  $^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Dichos valores fueron establecidos a partir de la información climática

recopilada de datos históricos registrados por la red meteorológica nacional. El modelo numérico no incluyó la presencia de cultivo alguno y adicionalmente, se asumió una hermeticidad máxima del macro túnel.

**Cuadro 2.** Propiedades de los materiales incluidos en el dominio computacional.

Material	Densidad (kg m <sup>-3</sup> )	Conductividad térmica (W m-K <sup>-1</sup> )	Calor específico (J kg-K <sup>-1</sup> )
Polietileno	971	0.31	1900
Suelo	1300	1.0	800

### Validación del modelo desarrollado

La validación del modelo CFD se realizó a través de la comparación entre los resultados de las simulaciones del comportamiento térmico del macro túnel y el registro experimental de la temperatura dentro del macro túnel, donde fueron monitoreados cuatro puntos en el eje transversal a 0.5 metros y un punto a 1.6 metros de la altura del suelo. Las estaciones de registro tanto en el exterior como en el interior del macro túnel registraron datos cada 10 minutos. El periodo de registro de datos en campo empleado para la validación fue del 01 al 05 de febrero de 2018.

## Resultados y discusión

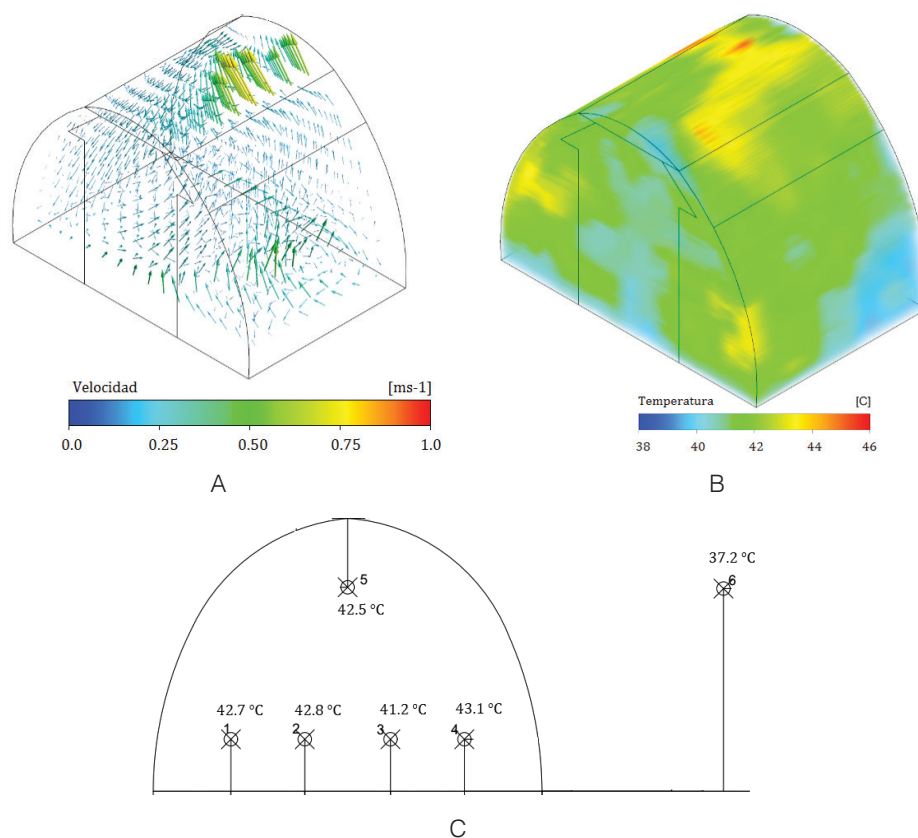
### Validación del modelo CFD

Para la validación se consideró una configuración de ventilación totalmente cerrada, junto con las condiciones meteorológicas medias del sitio de estudio, velocidad de aire exterior de 0.2 ms<sup>-1</sup> y una temperatura de 37.2°C presentadas para la hora 12. El movimiento de aire para la configuración evaluada muestra un movimiento convectivo desde la zona del suelo hacia la zona cubierta con valores medios de velocidad del aire de 0.43 ms<sup>-1</sup>, este movimiento es generado específicamente por el efecto térmico o de convección libre de la ventilación natural [9]A). Este movimiento se genera a partir de un cambio de densidad en el aire en función de la temperatura lo cual genera un movimiento vertical hacia la zona de la cumbre del macro túnel conocido como efecto chimenea [11]. El comportamiento térmico del macro túnel bajo esta configuración de ventilación muestra un diferencial térmico que aumenta en magnitud hacia la zona central del mismo, el valor medio de la temperatura interior obtenida fue de 42.08°C B). Al analizar los datos experimentales recopilados en campo bajo esta condición se encontró que el valor de la temperatura media del invernadero registrada en las estaciones de medición fue de 42.46°C, con lo cual se concluye que existe una ligera desviación de los valores experimentales y los simulados, aunque sus tendencias son similares. Bajo esta premisa podemos definir que el modelo CFD es válido para describir el comportamiento del macro túnel bajo las condiciones climáticas locales de Yopal.

### Escenarios evaluados

En las figura 2 A,C,E se presentan los comportamientos del movimiento del aire en el interior del macro túnel para las simulaciones de temperatura mínima media histórica (S1), temperatura media (S2) y temperatura máxima absoluta (S3) respectivamente. Las condiciones de velocidad

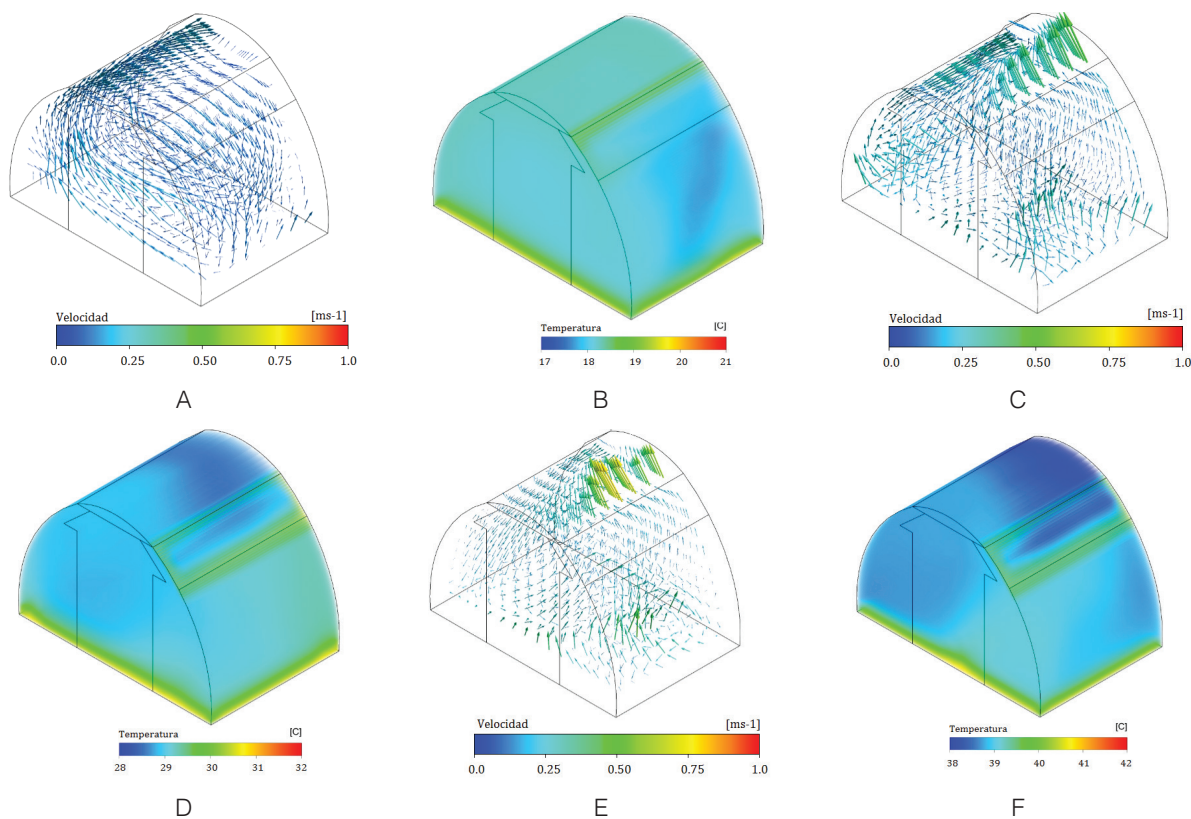
de viento exterior establecidas fueron  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  y se simuló bajo una configuración de ventilación lateral abierta en el costado de sotavento. Los resultados generales muestran que existe un movimiento convectivo de los flujos de aire con direcciones predominantes desde el suelo a la zona de cubierta, flujo predominante cuando los valores de viento exterior son bajos y predomina el efecto térmico de la ventilación natural. Los valores medios de velocidad de aire fueron  $0.18$ ,  $0.25$  y  $0.39 \text{ ms}^{-1}$  para las simulaciones S1, S2 y S3 respectivamente generando índices de renovación de 22.5, 30.9 y 45.6 renovaciones/hora para cada caso evaluado. Valores que están dentro de los rangos de renovación adecuados para el cultivo de Orellana (*Pleurotus ostreatus*), donde se requiere tener de cuatro a ocho renovaciones por hora en zonas frías y valores superiores en zonas cálidas [12].



**Figura 1.** A) Vectores de velocidad del viento ( $\text{m s}^{-1}$ ), B) distribución de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para la simulación usada como validación del modelo CFD 3D y C) distribución de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtenida experimentalmente.

En las figura 2 B,D,F se observan los comportamientos térmicos generados para S1, S2 y S3, se puede mencionar que cualitativamente se observa una heterogeneidad de la variable temperatura en el interior de la estructura, comparando los valores de paredes laterales y el centro del invernadero, aunque se debe resaltar que la magnitud de estas diferencias oscila entre  $1$  y  $1.4^{\circ}\text{C}$ , valor que se puede considerar bajo, al extraer los datos de temperatura se calculó que el valor medio de esta variable fue de  $23.5$ ,  $29.7$  y  $38.3^{\circ}\text{C}$  para S1, S2 y S3 respectivamente, esto valores de temperatura generan diferenciales térmicos entre el interior y el exterior del invernadero ( $\Delta T = T_{\text{media interior}} - T_{\text{exterior}}$ ) con valores de  $2.1$ ,  $1$  y  $1.1^{\circ}\text{C}$  para cada simulación. Estos resultados demuestran que el macro túnel tiene un comportamiento térmico adecuado y garantiza valores de temperatura interior ligeramente superiores al valor de la

temperatura ambiental, esto es un factor relevante a tener en cuenta en estructuras de AP construidas en climas cálidos. También se observa como el  $\Delta T$  varía en función de la eficiencia de la ventilación natural y es inversamente proporcional al valor del índice de renovación factor previamente demostrado en estudios similares para invernaderos pasivos [13].



**Figura 2.** Vectores de velocidad del viento ( $m\ s^{-1}$ ), A) S1, C) S2 Y E) S3, distribución de temperatura ( $^{\circ}C$ ), B) S1, D) S2 Y F) S3.

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados observados, se reafirma la potencialidad de las simulaciones numéricas mediante CFD, como herramienta de evaluación climática en estructuras de agricultura protegida. Específicamente en este estudio se obtuvo un modelo CFD que representa adecuadamente las condiciones y el comportamiento de la estructura real evaluada, encontrando que los índices de renovación para las condiciones meteorológicas predominantes de la zona de estudio son adecuados y garantizan la generación de diferenciales térmicos de magnitud baja en comparación con el ambiente exterior.

## Referencias

- [1] D. R. Nair and D. S. Barche, "Protected Cultivation of Vegetables – Present Status and Future Prospects in India," *Indian J. Appl. Res.*, vol. 4, no. 6, pp. 245–247, Oct. 2011.
- [2] G. P. Mishra, N. Singh, H. Kumar, and S. B. Singh, "Protected cultivation for food and nutritional security at Ladakh," *Defence Science Journal*, vol. 60, no. 2, pp. 219–225, 2010.

- [3] E. J. Baeza, J. J. Pérez-Parra, J. I. Montero, B. J. Bailey, J. C. López, and J. C. Gázquez, "Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics," *Biosyst. Eng.*, vol. 104, no. 1, pp. 86–96, 2009.
- [4] T. Bartzanas, T. Boulard, and C. Kittas, "Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse," *Biosyst. Eng.*, vol. 88, no. 4, pp. 479–490, 2004.
- [5] J. I. Montero and A. Antón, "BUOYANCY DRIVEN VENTILATION IN TROPICAL GREENHOUSES," *Acta Hortic.*, no. 534, pp. 41–48, Aug. 2000.
- [6] F. D. Molina-Aiz, D. L. Valera, A. A. Peña, J. A. Gil, and A. López, "A study of natural ventilation in an Almería-type greenhouse with insect screens by means of tri-sonic anemometry," *Biosyst. Eng.*, vol. 104, no. 2, pp. 224–242, Oct. 2009.
- [7] D. Piscia, J. I. Montero, E. Baeza, and B. J. Bailey, "A CFD greenhouse night-time condensation model," *Biosyst. Eng.*, vol. 111, no. 2, pp. 141–154, Feb. 2012.
- [8] M. C. H. Fatnassi, T. Boulard, C. Poncet, "Optimisation of Greenhouse Insect Screening with Computational Fluid Dynamics," *Biosyst. Eng.*, vol. 93, no. 3, pp. 301–312, Mar. 2006.
- [9] N. Katsoulas, T. Bartzanas, T. Boulard, M. Mermier, and C. Kittas, "Effect of Vent Openings and Insect Screens on Greenhouse Ventilation," *Biosyst. Eng.*, vol. 93, no. 4, pp. 427–436, Apr. 2006.
- [10] X. He *et al.*, "Ventilation optimization of solar greenhouse with removable back walls based on CFD," *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017.
- [11] N. Katsoulas, T. Bartzanas, T. Boulard, M. Mermier, and C. Kittas, "Effect of Vent Openings and Insect Screens on Greenhouse Ventilation," *Biosyst. Eng.*, vol. 93, no. 4, pp. 427–436, Apr. 2006.
- [12] J.L. Cuervo y J.L. Rodríguez, *Cultivo del hongo comestible (pleurotus ostreatus Jacq. Kumm) Sobre residuos agroforestales*, Produmedio. Bogota, 2013.
- [13] E. A. Villagrán, R. Gil, J. F. Acuña, and C. R. Bojacá, "Optimization of ventilation and its effect on the microclimate of a colombian multispans greenhouse," *Agron. Colomb.*, vol. 30, no. 2, 2012.



# Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento postcosecha de frutos de Feijoa

## Influence of weather conditions of crop on harvest quality and post-harvest behavior of pineapple guava fruit

Alfonso Parra-Coronado<sup>1</sup>, Gerhard Fischer<sup>2</sup>,  
Jesús Hernán Camacho-Tamayo<sup>3</sup>

---

Parra-Coronado, A; Fischer, G; Camacho-Tamayo, J. Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento postcosecha de frutos de Feijoa. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 86-92.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4264>

1 Ingeniero Agrícola, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [aparrac@unal.edu.co](mailto:aparrac@unal.edu.co)

2 Ingeniero Hortícola, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [gfischer@unal.edu.co](mailto:gfischer@unal.edu.co)

3 Ingeniero Agrícola, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [jhcamachot@unal.edu.co](mailto:jhcamachot@unal.edu.co)



## Palabras clave

*Acca sellowiana*; pérdida de peso; contenido de azúcares; acidez; firmeza.

## Resumen

Las condiciones climáticas de cultivo, que definen las propiedades o atributos de los frutos de feijoa en la recolección, determinan también el comportamiento de los mismos durante la postcosecha. En este estudio se evaluó el efecto de las condiciones climáticas de cultivo en algunos atributos de calidad de la fruta en el momento de la cosecha, así como en su comportamiento durante el periodo postcosecha. Se consideraron dos predios situados en localidades diferentes del departamento de Cundinamarca - Colombia, localizadas a altitudes de 1.800 msnm y 2.580 msnm, en cada una de las cuales se marcaron 20 árboles y se realizó el registro de los parámetros climáticos en el periodo de desarrollo de los frutos hasta la cosecha, para dos periodos diferentes de producción. Se evaluaron periódicamente los parámetros de calidad en el periodo de desarrollo de los frutos hasta la cosecha, así como en el periodo postcosecha. En la postcosecha, los frutos diferenciados por localidad fueron almacenados a temperaturas de  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $87 \pm 5\%$  HR) y  $18 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $76 \pm 5\%$  HR), con valoración de los parámetros de calidad cada 2 días. La conclusión del estudio fue que la calidad de los frutos en la cosecha y durante la postcosecha depende de las condiciones climáticas de cultivo. Los frutos producidos a altitud mayor tienen más sólidos solubles totales y mayor tamaño y peso, presentando en postcosecha menor pérdida de peso y menor firmeza y acidez. A mayor temperatura de almacenamiento los frutos presentaron más pérdida de peso y de firmeza, mayor contenido de azúcares y menos durabilidad.

## Keywords

*Acca sellowiana*; weight loss; sugar content; acidity; firmness.

## Abstract

The weather conditions of crop, which define the properties or attributes of the pineapple aguava (feijoa) fruits at the time of harvest, also determine the behavior of the same during post-harvest. In this study, the effect of the weather conditions of the crop on some fruit quality attributes at the harvest, as well as on its behavior during the post-harvest period, was evaluated. Two farms were considered located in different localities of the department of Cundinamarca - Colombia, located at altitudes of 1,800 masl and 2,580 masl, in each of which 20 trees were marked and the weather conditions registered during the development period of the fruits until the harvest, for two different periods of production. The parameters of quality in the period of development of the fruits until the harvest, as well as during the post-harvest period, were evaluated periodically. In postharvest, fruits differentiated by location were stored at temperatures of  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $87 \pm 5\%$  RH) and  $18 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $76 \pm 5\%$  RH), with assessment of quality parameters every 2 days. The conclusion of the study was that the quality fruit in the harvest and during the post-harvest depends on the weather conditions of crop. Fruits produced at higher altitudes have higher content of total soluble solids, larger size and weight, presenting in post-harvest less weight loss and less firmness and acidity. At higher storage temperature, the fruits presented more weight loss and firmness, higher sugar content and less durability.

## Introducción

La feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret), se cultiva en Colombia en altitudes que van desde los 1.800 hasta los 2.700 msnm [1]. Una vez cosechadas, las feijoas maduran desde su interior hacia afuera, con cambios en su calidad externa poco significativos después de su recolección, lo cual dificulta la definición del estado de madurez de los frutos por técnicas no destructivas, a la vez que se dificulta realizar propuestas tecnológicas que permitan la conservación de su calidad en postcosecha [1]. El grado de madurez está relacionado directamente con la calidad de los frutos y para su determinación, se hace necesario evaluar diferentes atributos, dentro de los cuales se encuentran la firmeza, el contenido de sólidos solubles totales (SST), la acidez total titulable (ATT) y la relación SST/ATT (RM= Relación de Madurez) [2].

Las condiciones climáticas prevalecientes en el cultivo definen los atributos de calidad de los frutos, con alta influencia de la altitud, la temperatura y la precipitación, que afectan directamente los SST, firmeza y color [3]. En feijoa no se habían realizado investigaciones relacionadas con la incidencia de las condiciones climáticas en los atributos de calidad de los frutos en la cosecha, así como en su comportamiento en postcosecha. Por esta razón, el presente trabajo que es un resumen de los resultados de la tesis doctoral del primer autor [4], tuvo como finalidad estudiar la incidencia de las condiciones climáticas prevalecientes durante el desarrollo de los frutos de feijoa, en algunos atributos de calidad en el momento de la cosecha, así como en su comportamiento postcosecha a dos condiciones diferentes de temperatura de almacenamiento.

## Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en dos predios ubicados en el departamento de Cundinamarca – Colombia, que cuentan con cultivos de feijoa del clon 41 ('Quimba'), establecidos en el año 2006. Una finca está ubicada en el municipio de Tenjo (4° 51' 23" N y 74° 6' 33" W) a una altitud media de 2.580 msnm, con condiciones climáticas medias registradas durante la investigación de 12,3 °C de temperatura, humedad relativa (HR) entre 76,4 y 84,3% y precipitación media anual entre 190 y 417 mm. La otra finca está ubicada en el municipio de San Francisco de Sales (4° 57' 57" N y 74° 16' 27" W) a una altitud media de 1.800 msnm, con condiciones climáticas medias registradas durante la investigación de 18,3 °C de temperatura, humedad relativa (HR) entre 86,1 y 95,1% y precipitación media anual entre 573 y 1.400 mm. El manejo del cultivo se realizó de la misma forma en los dos predios, con el fin de descartar el efecto de las variables asociadas al manejo del cultivo.

Mediante estaciones meteorológicas automatizadas iMETOS ECO D2 (Pessl Instruments, Weiz, Austria) dispuestas en cada finca, se obtuvieron los registros meteorológicos cada hora de temperatura (T) y humedad relativa (HR), precipitación acumulada y radiación total diarias, desde plena floración (antesis) hasta la cosecha del fruto, entre los años 2012 a 2014. Se marcaron 10 árboles por parcela experimental y dos parcelas por predio, contando con 40 árboles en total para el estudio. Se marcaron botones florales de aproximadamente 5 mm de diámetro, con el fin de registrar el desarrollo desde plena floración hasta la recolección de los frutos. Una vez los frutos alcanzaron su madurez fisiológica, se recolectaron 300 frutos en cada finca por dos cosechas. Los frutos fueron separados de acuerdo con el predio de origen para cada cosecha y se almacenaron a temperaturas de  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $87 \pm 5\%$  HR) por un periodo de 31 días y a  $18 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $76 \pm 5\%$  HR) por 11 días.

Las características de calidad medidas durante el desarrollo del fruto fueron tamaño y peso, firmeza, SST y ATT. Durante el periodo de almacenamiento, además de los atributos de calidad anteriores, se midió periódicamente la pérdida de peso (dW) en cinco muestras de dos frutos cada una, utilizando una balanza analítica (aprox. 0,0001 g). La variación de la firmeza se

determinó mediante el uso de un texturómetro Broofield CT3-4500 (Broofield Engineering, Middleboro, MA, USA) con precisión de  $\pm 0,5\%$ , utilizando sonda TA39 y realizándose dos lecturas en cada fruto. La determinación de SST se realizó aplicando la norma NTC 4624 [5] mediante el uso de un refractómetro Eclipse (Bellingham Stanley, Tunbridge Well, UK) con rango de medida de 0 a 32 y precisión de  $0,2^\circ\text{Brix}$ . Para la determinación de la ATT se aplicó la norma NTC 4623 [6]. Se determinó además la relación SST/ATT (RM). Para la determinación de las características de calidad durante el desarrollo del fruto, se tomaron muestras al azar semanalmente de un fruto en cada árbol de cada parcela.

En el periodo postcosecha se evaluaron los atributos de calidad cada dos días en los frutos que se almacenaron a las dos temperaturas. Se consideró un diseño estadístico completamente casualizado, con cinco repeticiones por ensayo, tanto para los análisis en precosecha como en postcosecha. El análisis de correlación, análisis de varianza y pruebas de Tukey para los diferentes parámetros de calidad del fruto, para cada finca y para cada cosecha, se realizó mediante el programa estadístico IBM-SPSS v.20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los datos se analizaron mediante estadísticos descriptivos, considerando como factor de dispersión la desviación estándar (DS).

## Resultados y discusión

### Desarrollo del fruto (precosecha)

#### Crecimiento del fruto

Los frutos producidos en San Francisco de Sales (menor altitud), donde se tienen los registros de mayor T y menor radiación total acumulada (Rad), crecieron con mayor rapidez, con menos días calendario para el desarrollo de los frutos hasta la cosecha, lo cual está acorde con lo reportado para tomate, uchuva, fresas, uvas, mangos, manzanas y ciruelas [4]. Los frutos de mayor peso se obtuvieron bajo condiciones de mayor precipitación total acumulada (P) y mayor HR, lo cual se encuentra dentro de los valores presentados por Parra-Coronado et al. [3] y concuerda con lo reportado para cultivos de granada, tomate y pimientos [4].

#### Variación de los atributos de calidad medidos

Durante el desarrollo de los frutos, la ATT y los SST mostraron a través del tiempo un comportamiento creciente en sus valores. La variación de SST no fue significativa, presentando valores medios iniciales de  $10,6\pm 0,9^\circ\text{Brix}$  a los 141 días después de plena floración en Tenjo y de  $10,8\pm 0,6^\circ\text{Brix}$  a los 113 días en San Francisco, incrementándose con el crecimiento del fruto, hasta alcanzar en el momento de la cosecha  $12,6\pm 0,8^\circ\text{Brix}$  en Tenjo y  $11,4\pm 0,8^\circ\text{Brix}$  en San Francisco. Los valores medios iniciales de la ATT fueron de  $1,0\pm 0,09\%$  en Tenjo y de  $1,1\pm 0,07\%$  en San Francisco, alcanzando en el momento de la cosecha valores de  $1,80\pm 0,11\%$  en Tenjo y de  $1,76\pm 0,07\%$  en San Francisco. Este comportamiento de la ATT y los SST durante el crecimiento del fruto concuerda con lo encontrado para frutos de feijoa de los clones 8-4 y 41 [7] y para frutos de guayaba [3].

La RM presentó un comportamiento decreciente con el crecimiento del fruto, lo cual se explica porque la ATT y los SST se incrementan con el crecimiento del fruto, e indica que los SST se translocan a los frutos en una menor proporción que los ácidos orgánicos, que es lo opuesto a lo observado en otros frutos [2]. La relación SST/ATT (RM) presentó valores iniciales de  $10,8\pm 1,3$  en Tenjo y de  $11,4\pm 0,9$  en San Francisco, disminuyendo con el crecimiento del fruto, hasta valores en la cosecha de  $7,0\pm 0,7$  para Tenjo y de  $6,5\pm 0,7$  para San Francisco.

Los frutos presentaron valores medios iniciales de firmeza de  $34,0 \pm 6,6$  N en Tenjo y de  $30,3 \pm 5$  N en San Francisco y fue disminuyendo hasta valores de  $12,5 \pm 3,0$  N y de  $15,2 \pm 1,6$  N para Tenjo y San Francisco respectivamente en el momento de la cosecha [3], comportamiento que está acorde con lo encontrado para pera [2].

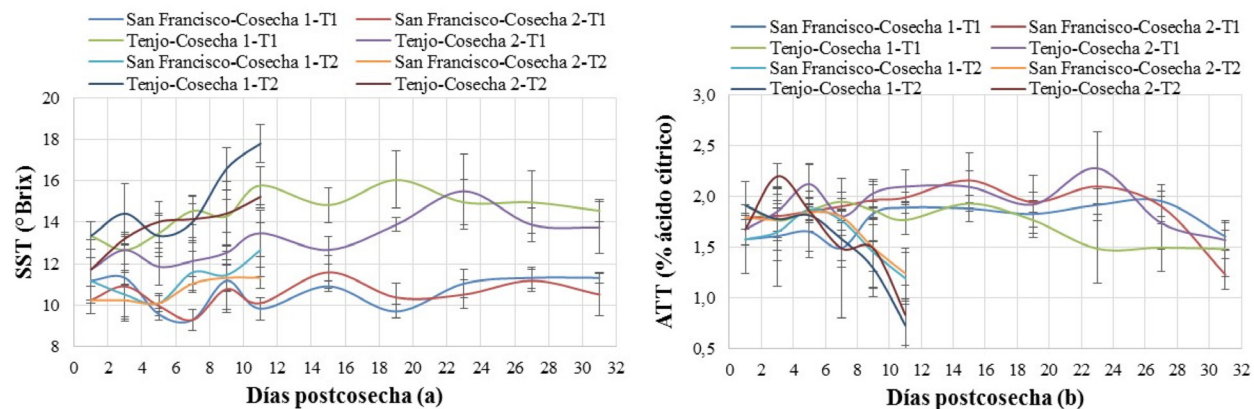
### Almacenamiento del fruto (postcosecha)

#### Pérdida de peso (dW) de los frutos en el periodo de almacenamiento

La dW aumenta a través del periodo de almacenamiento a las dos condiciones consideradas, lo cual está acorde con lo reportado para los frutos de feijoa de los clones Quimba y 8-4 [7]. La dW fue menor para los frutos de feijoa almacenados a menor temperatura, comportamiento similar al reportado para peras [2]. La pérdida de peso (dW) de los frutos de feijoa al final del almacenamiento a  $18^\circ\text{C}$  fue de  $13,01 \pm 1,98\%$  para los provenientes de Tenjo y de  $20,37 \pm 1,60\%$  para los de San Francisco. Los frutos que permanecieron a  $5^\circ\text{C}$ , presentaron valores medios de dW al final del almacenamiento de  $5,94 \pm 0,75\%$  para los provenientes de Tenjo y de  $8,48 \pm 1,91\%$  para los de San Francisco. El análisis de medias indicó diferencias estadísticas en la dW respecto a la temperatura y humedad relativa de almacenamiento, así como respecto al predio de origen. Los frutos almacenados a  $18^\circ\text{C}$  presentaron diferencias significativas con respecto al lugar de origen y a la cosecha, mientras que los frutos almacenados a  $5^\circ\text{C}$  no mostraron diferencias.

#### Variación de los atributos de calidad medidos

Los frutos de feijoa que permanecieron a  $5^\circ\text{C}$  durante el almacenamiento, presentaron poca variación en sus contenidos de SST y ATT, así como en su RM, en tanto que los frutos que se mantuvieron a  $18^\circ\text{C}$  durante el almacenamiento, presentaron incremento en los valores de SST y de RM, así como disminución de ATT a medida que los frutos maduran (figura 1). Los frutos que permanecieron a menor temperatura durante el almacenamiento, presentaron menor cambio en sus atributos de calidad, lo cual se explica porque con el aumento de la temperatura las reacciones enzimáticas aumentan exponencialmente su velocidad [1]. Estos resultados están dentro los rangos reportados por Rodríguez et al. [7] y Velho et al. [8].



**Figura 1.** Variación de SST (a) y de ATT (b) de frutos de feijoa (dos cosechas), durante el almacenamiento a  $18^\circ\text{C}$  (T1) y a  $5^\circ\text{C}$  (T2). Las barras verticales muestran la desviación estándar. Valores tomados de [4].

La firmeza disminuye más rápidamente en los frutos almacenados a mayor temperatura (18°C), manteniendo un valor aceptable hasta el día 11 de almacenamiento, mientras que los frutos almacenados a 5°C la mantuvieron hasta el día 31 de almacenamiento. Al finalizar el almacenamiento a 5°C, los frutos de San Francisco y de Tenjo presentaron una pérdida de firmeza de 8,2 y 37,1% respectivamente, mientras que en los frutos que se mantuvieron a 18°C las pérdidas de firmeza fueron de 38,5 y 66,0% para los frutos de San Francisco y de Tenjo, respectivamente. La literatura consultada reporta comportamientos similares para frutos de feijoa de los clones 41 y 8-4 [1], así como para guayabas, champa, arazá y peras [4].

### **Influencia de las condiciones climáticas**

Las feijoas producidas en San Francisco (menor altitud, mayores registros de T y HR, menores registros de Rad), presentaron mayor firmeza y menor SST en el momento de la cosecha y durante el almacenamiento, y mostraron menor contenido de SST, menor RM y mayor ATT y dW, lo cual indica que los predios ubicados en clima frío producen frutos de mejor sabor y con menor dW, que en los predios ubicados en clima más cálido. Estos resultados concuerdan con lo reportado para frutos de ciruela, fresa, mango y manzanas [4]. De igual manera, se reporta que el contenido de SST y ATT, así como el peso, fueron menores para otros frutos cultivados a menor altitud, donde se tienen temperaturas demasiado altas [3]. Las cosechas en las cuales ocurrió la mayor P y HR, produjeron frutos con menor contenido de SST y menor firmeza, comportamiento que se mantuvo durante el almacenamiento.

Las condiciones climáticas registradas en las dos localidades, no tuvieron influencia sobre los valores de ATT en el momento de la cosecha [4]. El análisis de medias de los resultados del periodo postcosecha, muestra diferencias estadísticas relacionadas con el predio de origen de los frutos y con las condiciones de almacenamiento, para el contenido de SST y ATT, firmeza y RM. La variación de la firmeza, de SST, ATT y RM de los frutos en postcosecha, depende de la temperatura de almacenamiento y de los valores de estos parámetros en la cosecha, valores que se ven afectados por las características climáticas del lugar de producción, prevalecientes en el periodo de desarrollo del fruto.

### **Conclusiones**

Los frutos más dulces, con mayor pérdida de peso y firmeza y menor durabilidad en postcosecha, fueron los almacenados a mayor temperatura. La altitud de la zona de producción y las características climáticas registradas en el cultivo, mostraron alta influencia en el desarrollo de los frutos de feijoa. La altitud de la zona de producción presentó una relación directa con el tamaño y peso de los frutos en cosecha.

En postcosecha, la temperatura de almacenamiento y el sitio de origen (altitud), presentaron una alta incidencia en la variación de los valores de la firmeza, SST, ATT, RM y dW de los frutos de feijoa, variación que depende de los valores de estos atributos en el momento de la recolección, los cuales están determinados por las características climáticas predominantes en el cultivo durante el periodo de desarrollo del fruto. Se observó que a menor altitud, son menores los SST y la pérdida de firmeza, mientras que es mayor dW y ATT.



## Referencias

- [1] A. Parra C., y G. Fischer, "Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Una revisión", *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.*, vol. 7, no. 1, pp. 98-110, 2013
- [2] A. Parra-Coronado, J.E. Hernández-Hernández y J.H. Camacho-Tamayo, "Comportamiento fisiológico de la pera variedad Triunfo de Viena (*Pyrus Communis* L.) durante el período poscosecha", *Rev. Bras. Frutic.*, vol. 28, no. 1, pp. 46-50, 2006
- [3] A. Parra-Coronado, G. Fischer and J.H. Camacho-Tamayo, "Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia", *Bragantia*, vol. 74, no. 3, pp. 359-366, 2015
- [4] A. Parra-Coronado. "Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret)", tesis doctoral, Fac. Agron., Univ. Nal. Colombia., Bogotá, 2014
- [5] *Jugos de frutas y hortalizas. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico*, Norma técnica colombiana NTC 4624, 1999
- [6] *Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable*, Norma técnica colombiana NTC 4623, 1999
- [7] M. Rodríguez, A.E. Arjona y J.A. Gálvis, "Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4 a temperatura ambiente en condiciones de la Sabana de Bogotá", *Agron. Colomb.*, vol. 24, no. 1, pp. 68-76, 2006
- [8] A.C. Velho et al., "Influência da temperatura de armazenamento na qualidade pós-colheita de goiabas serranas", *Rev. Bras. Frutic.*, vol. 33, no. 1, pp. 14-20, 2011

# Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de la Masa Corporal de Pollos

## Artificial Neural Networks for Chicks Body Mass Prediction

Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz<sup>1</sup>, Tadayuki Yanagi Junior<sup>2</sup>,  
Yamid Fabián Hernández Julio<sup>3</sup>, Gabriel Araújo e Silva Ferraz<sup>4</sup>,  
Daiane Cecchin<sup>5</sup>

---

Ponciano Ferraz, P; Yanagi Junior, T; Hernández Julio, Y;  
Silva Ferraz, G; Cecchin, D . Redes Neuronales Artificiales  
para la Predicción de la Masa Corporal de Pollos. *Tecnología  
en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019.  
Pág 93-99.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4266>



- 1 Profesora Adjunta, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.  
Correo electrónico: patricia.ponciano@ufla.br
- 2 Profesor Asociado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.  
Correo electrónico: yanagi@ufla.br
- 3 Profesor Titular, Universidad del Sinú, Elías Bechara Zainúm, Montería, Córdoba,  
Colombia, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Sistemas y Computación, be-  
cario de COLCIENCIAS y Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia.  
Correo electrónico: yamidhernandezj@unisinu.edu.co
- 4 Profesor Adjunto, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.  
Correo electrónico: gabriel.ferraz@ufla.br
- 5 Profesora Adjunta, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.  
Correo electrónico: daianececchin@yahoo.com.br

## Palabras clave

Bienestar animal; inteligencia artificial; pollitos; confort térmico.

## Resumen

Dentro de un galpón avícola el ambiente térmico ejerce una gran influencia en el bienestar y la productividad de los animales. De esta manera, el propósito de este trabajo fue predecir la masa corporal de polluelos de 2 a 21 días de vida, sujetos a condiciones de confort y estrés calórico en diferentes intensidades (27; 30; 33 y 36 °C) y períodos de duración (1; 2; 3 y 4 días a partir del 2° día de vida) a través de redes neuronales artificiales (RNA). El experimento se llevó a cabo en Lavras, MG, Brasil. 210 pollitos de ambos sexos se utilizaron del 1 al 22 día de vida alojados en cuatro túneles de viento climatizados. Todos los días, todos los polluelos fueron pesados para acompañar su masa corporal. Las variables de entrada fueron: temperatura de bulbo seco del aire, duración del estrés térmico, edad de las aves y como variable de salida, la masa corporal diaria de los pollitos. Se obtuvo una base de datos de 840 observaciones, siendo 70% utilizado para el entrenamiento de la red, un 15% para la validación y un 15% para pruebas de modelos basados en RNA. Se demostró que las RNAs eran precisas para predecir la masa corporal de los pollitos sometidos a diferentes intensidades y duraciones de condiciones térmicas presentando un  $R^2$  de 0,9992 y error estándar de 5,23 G. Además, las RNAs propiciaron la simulación de varios escenarios, que pueden ayudar en la toma de decisiones con relación a la gestión, y pueden ser incorporados a los sistemas de control de calefacción.

## Keywords

Animal welfare; artificial intelligence; chicks; thermal comfort.

## Abstract

The thermal environment inside a broiler house has a great influence on animal welfare and productivity during the production phase. Thus, the aim of this study was to predict body mass of chicks from 2 to 21 days of age when subjected to different intensities (27, 30, 33 and 36°C) and duration (1, 2, 3 and 4 days starting on the second day of life) using artificial neural networks (ANN). This experiment was conducted at Lavras, MG, Brazil. It was used 210 chicks of both sexes, from 1st to 22<sup>nd</sup> days of life. The chicks were raised inside four climate-controlled wind tunnels. Daily the weight of all the chicks was measured to know the daily body masses. The input variables were dry-bulb air temperature, duration of thermal stress, chick age, and the output variable was the daily body mass of chicks. A database containing 840 records was used to train (70% of data), validate (15%) and test (15%) of models based on artificial neural networks (ANN). Between these models, the ANN was accurate in predicting the BM of chicks from 2 to 21 days of age after they were subjected to the input variables, and it had an  $R^2$  of 0.9992 and a standard error of 5,23 g. This model enables the simulation of different scenarios that can assist in managerial decision-making, and it can be embedded in the heating controls.

## Introducción

Datos de confort térmico para pollitos han sido muy citados en la literatura y demuestran que tanto el estrés calórico como el frío durante las primeras tres semanas de vida pueden causar pérdida de peso corporal además de otros daños a la salud del Ave. Esto se debe a que la

tasa de crecimiento de los pollos de engorde se asocia con su sensibilidad a temperaturas ambientales extremas [1].

El desarrollo del polluelo en condiciones de termo-neutralidad, particularmente en la primera semana de edad, es una condición relevante para el desarrollo futuro del animal [2]. En este contexto, la predicción de respuestas productivas, como la masa corporal de pollos de corte, permite inferir el efecto del ambiente termal sobre esta variable, asistiendo en la toma de decisiones con relación al control del entorno termal de producción. Entre las metodologías utilizadas para la predicción se destacan las redes neuronales artificiales – RNAs.

Las RNAs son modelos constituidos por un grupo de simples células interconectadas, llamadas neuronas artificiales, que están dispuestas en capas y calculan funciones matemáticas [3]. Estos modelos se inspiran en la estructura del cerebro y pretenden simular el comportamiento humano, tales como el aprendizaje, la asociación, la generalización y la abstracción, cuando se someten a entrenamiento [4].

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar modelos basados en inteligencia artificial para predecir la masa corporal ( $M_c$ , g) de pollos de corte del linaje Cobb, de 2 a 21 días de vida sometidos a diferentes períodos e intensidades de estrés térmico, en función de las variables: temperatura del bulbo seco del aire ( $T_{bs}$ , °C), duración del estrés (DE, días) y edad de las aves ( $I$ , días).

## Material y Métodos

El experimento se condujo en el laboratorio de construcción rural y ambientación del Departamento de ingeniería de la Universidad Federal de Lavras (UFLA), ubicada en la ciudad de Lavras, estado de Minas Gerais, Brasil. Para la realización del experimento se utilizaron cuatro túneles de viento climatizados y renovación parcial. Se usaron durante el período experimental 210 pollos machos y hembras oriundos de una misma incubadora.

Los polluelos fueron mantenidos en sus temperaturas de confort, siendo 33 °C en la primera semana, 30 °C en la segunda y 27 °C en la tercera semana [5] y la humedad relativa (UR, %) dentro de los túneles de viento con aire acondicionado fueron mantenidos cerca de 60%. Sin embargo, cada grupo de quince aves fueron sometidas a temperaturas de estrés (27 °C, 30 °C y 36 °C) durante períodos que varían de uno a cuatro días a partir del segundo día de vida. Después de los días de estrés, las aves fueron sometidas de nuevo a su temperatura de confort. Dos grupos de quince aves se mantuvieron en una situación de confort durante todo el período experimental (grupo de control). Diariamente, por la mañana, las masas corporales de todos los polluelos fueron evaluadas para acompañar la evolución de estas.

Durante todo el período experimental, se recopiló información que dio origen a una base de datos conteniendo 840 pares de datos (de 2 a 21 días de vida de las aves) que se utilizaron para entrenar o ajustar, validar y probar los modelos basados en redes neuronales Artificial (RNA). Para la construcción de RNA se utilizaron como variables de entrada la temperatura de bulbo seco del aire ( $T_{bs}$ , °C), la duración del estrés (DE, días) y la edad de las aves ( $I$ ) y como variable de salida, la masa corporal ( $M_c$ , g) de polluelos del linaje Cobb de 2 a 21 días de vida. Para el entrenamiento, fue utilizado el 70% del conjunto de datos experimentales (588 pares de datos), para la validación y prueba fueron utilizados el 15% de los datos, respectivamente (126 puntos de datos en cada uno), totalizando 840 pares de datos del conjunto de datos experimental. El conjunto de datos de validación final de los modelos fue compuesto por medio de 42 pares de datos experimentales, equivalentes al promedio de las masas corporales correspondientes a los días 7°, 14° y 21° de edad de las aves.

Entre los modelos ajustados, se optó por escoger un modelo basado en RNA que presentara el coeficiente de determinación más alto ( $R^2$ ) y el menor error medio cuadrado (EMC) para poder compararlos. Estos modelos fueron entrenados con 70% de los datos experimentales divididos aleatoriamente, siendo probados diferentes números de neuronas ocultas (de 2 a 10, en intervalos de 1 unidad y de 10 a 115 en intervalos de 5). Las mejores configuraciones de los modelos probados se seleccionaron basándose en el más alto coeficiente  $R^2$  y el más pequeño EMC. Posteriormente, estos modelos se validaron con los datos experimentales y así escogimos el mejor modelo de todos.

En este trabajo, dentro de las arquitecturas probadas, las que presentaron mejor desempeño para la predicción de MC fueron las redes multicapas (MultiLayer Perceptron -MLP), que han sido las más utilizadas en el desarrollo de RNAs. Fueron utilizadas dos capas "Feedforward" y entrenamiento supervisado, usando el algoritmo de entrenamiento de retro-propagación de *Levenberg-Marquardt* (LM), que es considerado el método más rápido para entrenar este tipo de redes. La función de desempeño utilizado fue el EMC, siendo que, la función de la activación de la neurona de salida fue la función tangente sigmoideal.

Para el desarrollo de la RNAs, se utilizaron tres variables en la capa de entrada: Tbs, DE, I. Los parámetros iniciales de las redes se configuraron de la siguiente manera: número de épocas: 1.000; Tolerancia de error: 0,0; Tasa de aprendizaje: 0,7 y tasa de momento: 1, 0000<sup>-3</sup>; Estos valores se optimizaron automáticamente durante el proceso de entrenamiento de la red a través de la aplicación computacional utilizada para el entrenamiento de estas.

## Resultados y discusión

La mejor arquitectura de red obtenida estuvo conformada por 100 neuronas ocultas en la capa intermedia y en cada RNA entrenada, la capa de salida fue compuesta por una sola neurona, la MC. De esta manera, se obtuvo el menor número de errores predictivos: error de entrenamiento (error Medio Cuadrado) = 273.63, error de validación = 283.95, error de prueba = 297.54 para la MC. A partir de este punto, al aumentar el número de neuronas en la capa intermedia, también se incrementaba la diferencia entre los errores de predicción, indicando el sobreajuste del modelo. Se verificó mediante los valores de EMC que la RNA puede predecir adecuadamente la variable de salida (cuadro 1).

Al compararse los valores de MC simulados por la RNA con los valores obtenidos experimentalmente, se encontró que el modelo propuesto tenía buena precisión para la predicción de la MC de pollos con edades que oscilaban entre 2 y 21 días. Se observa que el modelo basado en RNA presentó un excelente rendimiento con  $R^2 = 0.9992$ . Este resultado indica que los valores de MC predichos por la RNA fueron cercanos a los valores observados experimentalmente. Este resultado indica que las fallas de aprendizaje en la red durante el proceso de entrenamiento fueron mínimas [6].

Posteriormente, gráficas del comportamiento de la MC de los pollos de corte durante las tres primeras semanas de vida, en función de I (días) y de la DE (días) para Tbs de 27 °C, 30 °C y 36 °C (figuras 1 a, b y c, respectivamente) fueron generadas. Las predicciones de la MC para la Tbs de 33 °C, condición de confort recomendada por la literatura [7] también fueron agregadas a las figuras.

Según la figura 1, se puede observar que en el día 21 de vida, las aves con temperatura de confort mostraron una MC promedio aproximadamente a los 583 g, mientras que las aves que fueron sometidas a temperatura de 27 °C (figura 1a) presentaron promedios de MC de 523, 452, 500 y 515 g para 1, 2, 3 y 4 días de estrés, respectivamente. En la figura 1b, la MC de los pollos de corte a los 21 días de vida sometidos a 30 °C durante 1, 2, 3 y 4 días fueron 537,

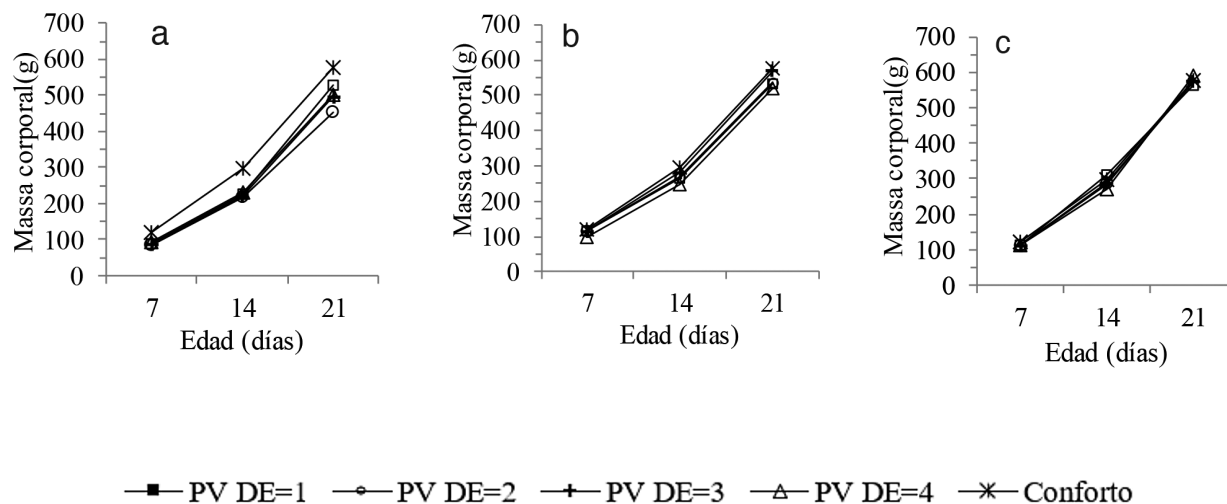
535, 568 y 525 g, respectivamente. Sin embargo, las aves sometidas a 36 °C durante 1, 2, 3 y 4 días presentaron MC a los 21 días de 582, 571, 579 y 595 g, respectivamente. Se observa, por lo tanto, que las aves sometidas a 27 °C mostraron valores más bajos de MC en comparación con las aves sujetas a 30 °C y que ambas mostraron disminución en la MC con relación a la temperatura de confort. Sin embargo, hay que destacar, que, aunque la pérdida es pequeña, si consideramos un galpón de pollos para la producción comercial, esta diferencia en la MC de las aves puede representar un gran perjuicio para el lote de animales, causando incluso pérdidas financieras para el productor, estando en consonancia con los resultados obtenidos por Ponciano, et al. [8]. Además, los mismos autores observaron que estos polluelos no presentaron consumo de ración compensatoria, tratando de mantener la producción de calor. Por tanto, se puede deducir que, si los polluelos están estresados por frío, en menor o mayor intensidad, se afecta la ingesta de alimentos, consecuentemente su desarrollo digestivo y corporal, además de la homeotermia y consecuentemente el aumento de peso y la Masa corporal de las aves.

**Cuadro 1.** Resultados estadísticos de los modelos de RNAs

Variable de salida	Índices estadísticos		RNA
Masa corporal (g)	Desvíos absolutos	Mínimo	0.02
		Media	4.38
		Mediana	3.88
		Máximo	14.46
	Desvíos estándares	Mínimo	0.01
		Media	3.09
		Mediana	2.74
		Máximo	10.23
	Error porcentual	Mínimo	0.02
		Media	1.63
		Mediana	1.24
		Máximo	6.52
	R <sup>2</sup>		0.9992
	Error estándar		5.23
	RMSE		2.32
	Coeficientes de regresión (Slopes)*		1.01455 <sup>±</sup> ± 0.0046
	Interceptos*		-5,2334 <sup>±</sup> ± 1,699

\* Los coeficientes fueron significativos a un nivel de 95% del intervalo de confianza. Al mismo tiempo, si el intercepto está cerca de 0 y la pendiente está cerca de 1, entonces la precisión es mayor. RMSE: Raíz del Error Cuadrático Medio.





**Figura 1.** Gráfico de la  $M_c$  (g) predicha por la RNA en función de la  $t_{bs}$  a que los pollitos fueron sometidos: 27°C (a), 30°C (b) y 36°C (c), I (días) y DE (días).

A 36 °C el perjuicio con relación a la MC fue prácticamente insignificante o incluso inexistente, demostrando que las aves pueden adaptarse bien a temperaturas más altas en este grupo de edad concordando con Abreu, et al. [9] quienes afirman que las aves jóvenes presentan mayor resistencia a las altas temperaturas y mayor susceptibilidad a las condiciones de estrés por frío. Siendo así, las aves a 36 °C consiguieron presentar un mejor desempeño que las aves en situación de estrés por frío.

## Conclusiones

El modelo basado en RNA se mostró apropiado para predecir la MC de pollos de corte de 2 a 21 días de edad, sometidos a diferentes  $T_{bs}$ , con un  $R^2$  de 0.9992 y un error estándar de 5.23 g.

## Referencias

- [1] Z. Zhang, Z. Lv, J. Li, S. Li, S. Xu, and X. Wang, "Effects of cold stress on nitric oxide in duodenum of chicks," *Poultry science*, vol. 90, pp. 1555-1561, 2011. <http://doi.org/10.3382/ps.2010-01333>.
- [2] C. F. P. Marchini, P. L. Silva, M. R. B. M. Nascimento, M. E. Beletti, E. C. Guimarães, and H. L. Soares, "Morfometria da mucosa duodenal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada," *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 61, pp. 491-497, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352009000200029>.
- [3] H. R. H. Matin, A. A. Saki, H. Aliarabi, M. Shadmani, and H. Z. Abyane, "Intestinal broiler microflora estimation by artificial neural network," *Neural Computing and Applications*, vol. 21, pp. 1043-1047, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00521-011-0553-2>.
- [4] R. Pinto Ferreira, R. J. Sassi, and C. d. Oliveira Affonso, "Aplicação de uma rede neuro Fuzzy para a previsão do comportamento do tráfego veicular urbano na região metropolitana da cidade de São Paulo," *Exacta*, vol. 9, 2011.
- [5] I. Menegali, I. F. Tinoco, C. d. Carvalho, C. d. F. Souza, and J. H. Martins, "Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agrambi*, vol. 17, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100015>.
- [6] H. Ahmadi and A. Golian, "The integration of broiler chicken threonine responses data into neural network models," *Poultry science*, vol. 89, pp. 2535-2541, 2010. <http://doi.org/10.3382/ps.2010-00884>.

- [7] I. Menegali, I. F. F. Tinoco, C. d. C. S. Carvalho, C. d. F. Souza, and J. H. Martins, "Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, pp. 106-113, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100015>.
- [8] P. F. Ponciano, T. Yanagi Junior, L. Schiassi, A. T. Campos, and J. W. B. d. Nascimento, "Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade," *Engenharia Agrícola*, vol. 32, pp. 446-458, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300004>.
- [9] P. G. d. Abreu, V. M. N. Abreu, A. Coldebella, M. J. Hassemer, and I. L. Tomazelli, "Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, pp. 795-801, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000700014>.

# Modelo Hidráulico para Redes de Canales con Estructuras Hidráulicas

## Hydraulic Model for Channel Networks with Hydraulic Structures

Félix Santiago Collazo<sup>1</sup>, Walter Silva Araya<sup>2</sup>

---

Santiago Collazo, F; Silva Araya, W. Modelo Hidráulico para Redes de Canales con Estructuras Hidráulicas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 100-108.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4267>

1 Graduado de Maestría de la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. Puerto Rico. Correo electrónico: felix.santiago10@upr.edu

2 Profesor, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. Puerto Rico. Correo electrónico: walter.silva2@upr.edu



## Palabras clave

Redes de canales; flujo gradualmente variado; método de solución simultánea para canales; análisis y diseño de estructuras hidráulicas.

## Resumen

Muchos sistemas de irrigación contienen sistemas de canales complejos que incluyen estructuras de control. La regulación y control de la distribución de agua para regar los cultivos es necesaria para una agricultura sostenible. El diseño y análisis de estructuras hidráulicas es esencial para la conservación y el uso eficiente del agua dentro del sistema. Este artículo presenta las capacidades de un modelo hidráulico para resolver redes de canales con estructuras hidráulicas. El algoritmo utiliza el Método de Solución Simultánea (MSS) para resolver las ecuaciones de continuidad y energía en varios tramos del canal. Los resultados obtenidos incluyen profundidades del agua, distribución de flujos y dimensionamiento de estructuras hidráulicas. Se presentan dos aplicaciones: la modelación de un tramo del Distrito de Riego del Valle de Lajas (DRVL) de Puerto Rico y una red de canales con diseño y análisis de diferentes estructuras hidráulicas. El MSS ha probado ser excelente para aplicaciones prácticas debido a su fácil uso, capacidades y precisión.

## Keywords

Channel network; gradually-varied flow; simultaneous solution method; analysis and design of hydraulic structures.

## Abstract

Many irrigation systems comprise complex channel systems including control structures. Regulation and control of water distribution for crop irrigation is necessary for sustainable agriculture. Design and analysis of hydraulic structures is essential for efficient use and conservation of water. This article presents the capabilities of a hydraulic model for solution of channel networks with hydraulic structures. The algorithm uses the Simultaneous Solution Method (SSM) to solve the continuity and energy equations in several channel reaches. The results include water depths, distribution of flows and dimensions of hydraulic structures. Two applications are presented: modeling of a reach of the Lajas Valley Irrigation System in Puerto Rico and, a channel network with design and analysis of different hydraulic structures. The SSM proved to be excellent for practical applications due to ease of use, capabilities and precision.

## Introducción

Los perfiles de la profundidad del agua para condiciones de flujo permanente y gradualmente variado se obtienen resolviendo las ecuaciones de conservación de energía y conservación de volumen, conocida como la ecuación de continuidad, a lo largo de un canal. Existen diversos métodos para resolver este conjunto de ecuaciones, algunos usan las ecuaciones en forma diferencial y otros las usan en forma integrada. Entre los que usan las ecuaciones en forma integrada destacan el Método de Paso Directo y el Método del Paso Estándar. En su forma más común ambos métodos calculan la profundidad del agua en una sección transversal del canal cuando se conoce el nivel en la sección anterior. O sea, se resuelve una sección a la vez. Cada canal se divide en varias secciones para obtener el perfil del agua con mayor detalle. Sin embargo estos métodos se complican o son imprácticos cuando se trata de canales paralelos o de redes de canales. El Método de Solución Simultánea (MSS), descrito en la próxima sección, permite resolver cualquier sistema, siendo especialmente adecuado para redes o sistemas complejos de canales. El método resuelve las ecuaciones de conservación de energía y de continuidad para todas las secciones en que se divide el canal, y para todos los canales del

sistema de manera simultánea. En el algoritmo mostrado en este artículo se incluyen dentro de la solución simultánea el diseño y análisis de estructuras hidráulicas tales como vertedores laterales, compuertas y sifones. Esto lo convierte en una herramienta de gran utilidad para uso en sistemas de irrigación.

## Metodología

La ecuación de energía entre dos secciones transversales denotadas por el subíndice  $j$  y  $j+1$  de un canal puede expresarse como [1]:

$$F_{i,k} = z_{i,j+1} - z_{i,j} + y_{i,j+1} - y_{i,j} + \alpha_i \frac{Q_{i,j+1}|Q_{i,j+1}|}{2gA_{i,j+1}^2} - \alpha_i \frac{Q_{i,j}|Q_{i,j}|}{2gA_{i,j}^2} + \frac{1}{2}(x_{i,j+1} - x_{i,j}) \left( \frac{Q_{i,j+1}|Q_{i,j+1}|n_i^2}{C_o^2 A_{i,j+1}^2 R_{i,j+1}^{1.33}} + \frac{Q_{i,j}|Q_{i,j}|n_i^2}{C_o^2 A_{i,j}^2 R_{i,j}^{1.33}} \right) = 0 \quad (1)$$

Donde  $Q$  = caudal;  $z$  = elevación del fondo del canal;  $y$  = profundidad del agua;  $\alpha$  = coeficiente de corrección por distribución de velocidades;  $g$  = aceleración de la gravedad;  $x$  = distancia horizontal;  $A$  = área de flujo;  $n$  = coeficiente de rugosidad de Manning;  $R$  = radio hidráulico;  $C_o$  = coeficiente del sistema de unidades; para el Sistema Internacional de unidades use 1.0 y para el sistema Británico use 1.49;  $i$  = subíndice que se refiere al número del canal;  $j$  = subíndice que se refiere al número de la sección transversal del canal  $i$ ; y  $k$  = subíndice que se usaría para identificar cada ecuación dentro de la matriz que se construye cuando se forma el sistema de todas las ecuaciones entre cada tramo.

Si se tienen  $M$  canales y cada uno se divide en  $N_i$  tramos en cada canal, el número total de secciones en los  $M$  canales es  $\sum_{i=1}^M (N_i + 1)$ . Si se busca la profundidad del agua en cada sección, se requiere el mismo número de ecuaciones que de incógnitas para resolver por todas ellas.

El número total de ecuaciones de energía entre dos secciones es  $\sum_{i=1}^M N_i$ . Además en la unión entre dos canales se debe satisfacer también la ecuación de energía, lo cual provee  $M-1$  ecuaciones más. La ecuación faltante para completar el sistema la provee una condición de borde para la primera o la última sección de los canales. Las ecuaciones de energía (Ecuación 1) tienen términos que dependen de la profundidad y que están elevados a una potencia, estos son el área y el radio hidráulico. Por lo tanto, al organizar todas las ecuaciones para resolverse simultáneamente se forma un sistema de ecuaciones no-lineales. El Método de Solución Simultánea (MSS) consiste en resolver este sistema de ecuaciones. Si se trata de canales paralelos o redes de canales, entonces el sistema deberá incluir las ecuaciones de continuidad en los sitios donde un canal se separa en dos o más, y donde se unen dos o más canales. Existe un limitado número de algoritmos para resolver sistemas de canales [2, 3, 4], sin embargo los mismos han sido de poco alcance ya que solamente resuelven por caudales y profundidades del agua en los canales, sin considerar estructuras para distribución o control del agua. Es común que en un sistema de canales existan estructuras hidráulicas tales como vertedores, compuertas y sifones invertidos. En estos casos las ecuaciones de las estructuras se deben incluir dentro del sistema de ecuaciones simultáneas. El resultado es un conjunto numeroso de ecuaciones no lineales que, para su solución requiere de métodos numéricos capaces de resolver eficazmente matrices grandes de sistemas mal-condicionados [5]. Este artículo presenta un modelo computadorizado para resolver redes de canales con las siguientes capacidades:

1. Permite resolver canales en serie, canales paralelos y redes de canales usando el MSS.
2. Incluye el diseño y/o análisis de vertedores laterales, compuertas y sifones invertidos.

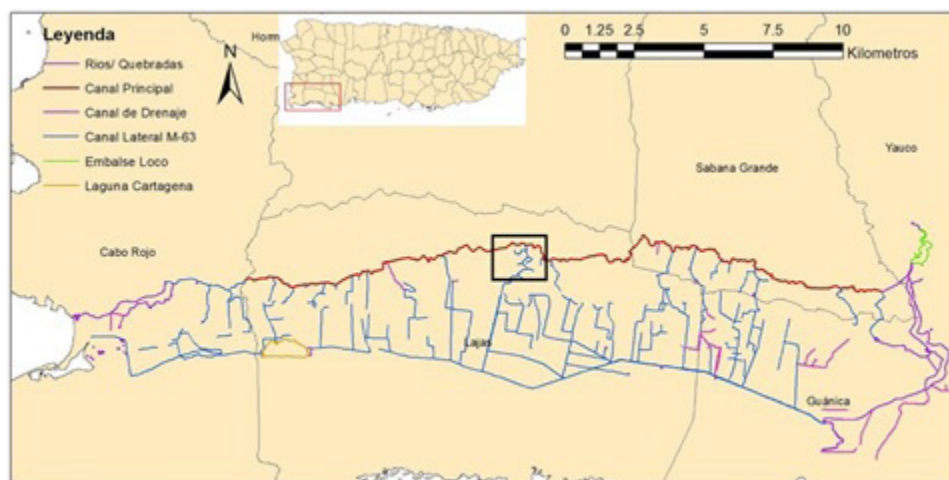
3. Resuelve sistemas grandes de ecuaciones no-lineales usando el método de Newton-Raphson. Este método aproxima la solución iterativamente resolviendo las ecuaciones linealizadas sucesivamente hasta tener convergencia [6].
4. Las ecuaciones lineales se resuelven con el método Gradiente Biconjugado Estabilizado con Precondicionador (BiCGSTAB por sus siglas en inglés) el cual es apropiado para sistemas lineales, no-simétricos y con matrices dispersas [7].

Detalles del MSS y como se añaden las estructuras hidráulicas dentro del algoritmo se pueden obtener en Santiago-Collazo y Silva-Araya [8]. A continuación se presentan dos casos donde se aplicó el MSS con estructuras hidráulicas. El primer caso es un tramo del Sistema de Irrigación del Valle de Lajas en el suroeste de Puerto Rico; el segundo caso muestra una red de canales con varias estructuras laterales, algunas son diseñadas y otras son analizadas. El modelo resuelve por los flujos, profundidades y dimensiones de todas las estructuras de manera simultánea. Este algoritmo fue programado en MATLAB y la entrada de los datos se puede realizar utilizando una interface gráfica.

## Resultados y Discusión

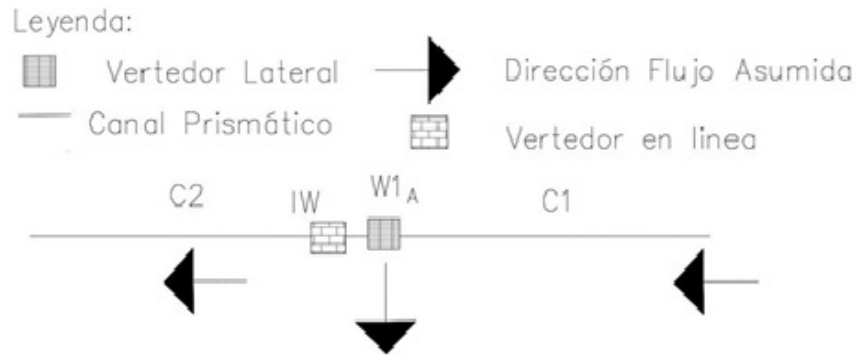
### Caso I: Tramo del Sistema de Irrigación del Valle de Lajas, Puerto Rico

El Sistema de Irrigación del Valle de Lajas, mostrado en la figura 1, consiste de aproximadamente 330 salidas de agua para irrigar tierras agrícolas. Además, alimenta cuatro plantas de tratamiento de agua potable para suministrar agua a cinco municipios del suroeste de Puerto Rico. Es el sistema de irrigación más importante de la Isla. El tramo analizado, mostrado en el recuadro negro, consiste de un desvío de agua formado por un vertedor lateral y un vertedor en el canal principal ubicado aguas abajo muy cerca uno del otro. El propósito de vertedor en el canal principal es elevar el nivel del agua para aumentar el desvío de agua hacia las parcelas a través del vertedor lateral. El conjunto de vertedores y los canales se muestran esquemáticamente en la figura 2. La figura 3 muestra una foto del levantamiento de campo en donde se observa el vertedor en el canal principal. Se levantaron secciones transversales, se midieron las profundidades, se usó el método de área-pendiente para estimar los caudales y se estimó la rugosidad de los canales. El cuadro 1 presenta las características de los canales trapezoidales C1 y C2, así como de los vertedores mostrados en la figura 2. El vertedor del canal principal presenta una discontinuidad en el perfil del agua. Para incluirlo en el sistema de ecuaciones del MSS se asumió profundidad normal aguas abajo del vertedor.



**Figura 1.** Esquemático del Sistema de irrigación del Valle de Lajas. Área de estudio dentro del recuadro





**Figura 2.** Esquemático utilizado para simular los vertedores



**Figura 3.** Levantamiento de datos de campo. Vertedor en el canal principal

**Cuadro 1.** Características de los canales para el Caso 1: Sistema de Irrigación del Valle de Lajas

ID Canal	Largo Canal (m)	Pendiente Fondo (m/m)	Coefficiente Rugosidad Manning	Ancho Fondo (m)	Pendiente Lateral (m/m)	Cantidad de Tramos	Elevación Fondo Aguas Arriba (m)
C1	168.36	0.0007	0.047	1.29	1:1.62	15	47.325
C2	310.84	0.0007	0.047	1.64	1:1.58	15	47.207
ID Vertedor Lateral	Tipo	Distancia Canal (m) <sup>+</sup>	Altura de Cresta (m)	Largo de Vertedor (m)	Flujo del Vertedor (m <sup>3</sup> /s)		
W1 <sub>A</sub>	Análisis	0.585	1.829	0.1035*	31.5*		

\*Valores que son parte de los resultados del Método de Solución Simultanea.  
+ Distancia desde el comienzo aguas arriba del canal hasta la localización del vertedor.

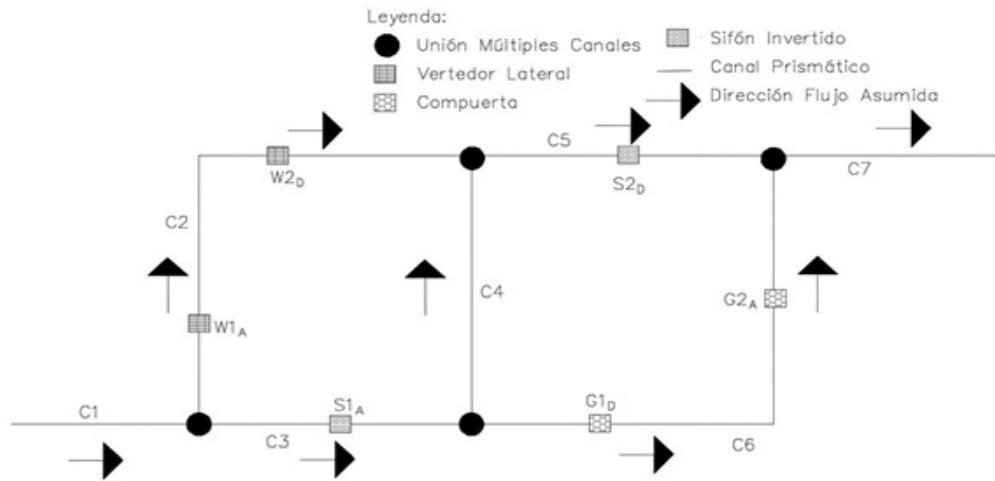
Los resultados obtenidos con el modelo fueron comparados con los valores de profundidad medidos. Se calibró los caudales ajustando el coeficiente de Manning y el coeficiente de descarga del vertedor. La rugosidad se redujo un 6.7% y el coeficiente de descarga un 12.8%. Los valores finales del coeficiente de vertedor y la rugosidad fueron 3.14 y 0.041 respectivamente. El cuadro 3 presenta los perfiles de agua obtenidos. Los porcentajes de calibración indican que el modelo reprodujo las condiciones de campo con precisión, considerando los errores esperados en las mediciones y otras incertidumbres. Este Caso 1 muestra las capacidades del MSS para simular vertedores en una confluencia (cuadro 2). El Caso 2 mostrará las capacidades para resolver sistemas de redes con estructuras incluidas.

**Cuadro 2.** Resumen de los resultados para Caso 1: Sistema de Irrigación del Valle de Lajas.

	Sección	Distancia (m)	Profundidad (m)		Sección	Distancia (m)	Profundidad (m)
Canal 1	1	0	0.6100	Canal 2	1	0	0.3851
Q= 0.329	3	22.45	0.6185	Q= 0.2255	3	41.45	0.3890
m <sup>3</sup> /s	5	44.90	0.6274	m <sup>3</sup> /s	5	82.89	0.3940
	7	67.34	0.6366		7	124.34	0.4001
	9	89.79	0.6463		9	165.78	0.4077
	11	112.24	0.6562		11	207.23	0.4169
	13	134.69	0.6666		13	248.67	0.4277
	15	157.14	0.6772		15	290.12	0.4403
	16	168.36	0.6827		16	310.84	0.4473

### Caso 2: Tramo del Sistema de Irrigación del Valle de Lajas, Puerto Rico

La red de canales se muestra esquemáticamente en la figura 4. Consiste en una red con siete (7) canales. En la red existen un vertedor lateral  $W1_A$ , un sifón  $S1_A$  y una compuerta  $G2_A$ . Se añadirá un sifón  $S2_D$ , un vertedor  $W2_D$  y una compuerta  $G1_D$  para desviar agua a otras fincas. Las primeras tres estructuras fueron analizadas para determinar cuánta agua suministran. Las últimas tres fueron diseñadas, o sea, se determinan el diámetro del sifón, el largo de la compuerta y del vertedor tal que cumplan con los caudales de demanda que se desean distribuir. El programa resuelve para todas las condiciones en forma simultánea, de esta manera no es necesario ningún procedimiento de prueba y error. El cuadro 3 presenta las propiedades de cada canal según la notación de la figura 4. Este sistema convergió en 11 iteraciones. La tolerancia para los valores de las correcciones en el algoritmo de Newton Raphson fue de 0.0001.



**Figura 4.** Esquemático de red de canales con estructuras

**Cuadro 3.** Propiedades geométricas y de rugosidad para el sistema de redes del Caso 2

ID Canal	Largo Canal (m)	Pendiente Fondo (m/m)	Coefficiente Rugosidad Manning	Ancho Fondo (m)	Pendiente Lateral (m/m)	Cantidad de Tramos	Elevación Fondo Aguas Arriba (m)
C1	1250	0.0005	0.03	2.0	1:1.5	10	100.0
C2	3600	0.0005	0.03	2.0	1:1.5	10	99.375
C3	1275	0.001	0.03	0.6	1:1.5	10	99.375
C4	525	0.001	0.03	0.6	1:1.5	10	98.1
C5	2950	0.0005	0.03	2.0	1:1.5	10	97.575
C6	2000	0.001	0.03	0.6	1:1.5	10	98.1
C7	1250	0.0005	0.03	2.0	1:1.5	10	96.1

Los resultados de profundidad de agua en los canales se muestran en el cuadro 4. Los cuadros 5 y 6 muestran los resultados para los vertedores, compuertas y sifones.

**Cuadro 4.** Resumen del diseño y análisis de vertedores laterales en el sistema de redes del Caso 2.

ID Vertedor Lateral	Tipo	Distancia Canal (m) <sup>+</sup>	Altura de Cresta (m)	Largo de Vertedor (m)	Flujo del Vertedor (m <sup>3</sup> /s)	Flujo a través del Vertedor (%)
W1 <sub>A</sub>	Análisis	1000	1.8	1.0	0.96	27.2*
W2 <sub>D</sub>	Diseño	2600	1.8	0.31*	0.85	25.0

\*Valores que son parte de los resultados del Método de Solución Simultanea.  
<sup>+</sup> Distancia desde el comienzo aguas arriba del canal hasta la localización del vertedor.

**Cuadro 5.** Resumen del diseño y análisis de las compuertas en el sistema de redes del Caso 2.

ID Vertedor Lateral	Tipo	Distancia Canal (m) <sup>+</sup>	Apertura Compuerta (m)	Largo de Compuerta (m)	Flujo de la Compuerta (m <sup>3</sup> /s)	Flujo a través de la Compuerta (%)
G1 <sub>D</sub>	Diseño	500	0.4	0.32*	0.64	23.0
G2 <sub>A</sub>	Análisis	1500	0.2	0.70	0.80	33.8*

\*Valores que son parte de los resultados del Método de Solución Simultanea.  
+ Distancia desde el comienzo aguas arriba del canal hasta la localización de la compuerta.

**Cuadro 6.** Resumen del diseño y análisis de sifones invertidos en el sistema de redes del Caso 2.

Parámetro / ID Sifón Invertido	S1 <sub>A</sub>	S2 <sub>D</sub>
Tipo	Análisis	Diseño
Largo (m)	50	70
Pendiente Fondo (m/m)	0.002	0.004
Pendiente Fricción (m/m)	0.0009*	0.0033*
Diámetro (m)	2.0	1.52 *
Carga Disponible (m)	0.0015*	0.0053*
Pérdidas Totales Carga (m)	0.050*	0.213*
Flujo Operacional (m <sup>3</sup> /s)	3.48*	3.25*
Velocidad de Flujo Operacional (m/s)	1.11*	1.78*
* Valores que son parte de los resultados del Método de Solución Simultanea.		

## Conclusiones

Este artículo presenta dos casos aplicaciones de un nuevo algoritmo de solución simultánea de canales complejos con estructuras hidráulicas incluidas. En el primer caso el modelo se usó para simular un tramo del sistema de riego del Valle de Lajas en Puerto Rico. La calibración con datos medidos en el campo requirió de ajustes del 6.7% y 12.8 % en el coeficiente de Manning y en el coeficiente de descarga del vertedor respectivamente. Estos ajustes están dentro de los errores esperados para aplicaciones en estos sistemas. El segundo caso consiste de un sistema de redes con vertedores, compuertas y sifones en cual, se resolvieron simultáneamente condiciones de diseño y análisis de dichas estructuras. La solución del sistema no-lineal de ecuaciones convergió en once iteraciones, lo cual demuestra la eficiencia y capacidad de este modelo. Sus capacidades superan la complejidad de problemas que se resuelven usando programas de computadora de flujo gradualmente variado de uso generalizado como HEC-RAS [9].



## Referencias

- [1] M. H. Chaudhry and A. M. Schulte. "Gradually-varied flows in open-channel network," in *Jour. Hydr. Res.*, vol 25, no. 3, pp. 357-371, Mar. 1987.
- [2] A. Islam, N. S. Raghuvanshi and R. Singh. "Development and Application of Hydraulic Simulation Model for Irrigation Canal Networks" in *Jour. of Irrig. Drain Eng.*, vol. 10. (, pp. 134: 149, October, 2008.
- [3] H. P. Reddy and S. M. Bhallamudi. "Gradually Varied Flow Computations in Cyclic Looped Channel Networks", *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 130, no. 5, pp. 424-431, 2004.
- [4] D. J. Sen and N. K. Garg. (2002). "Efficient Algorithm for Gradually Varied Flows in Channel Networks.", *J. Irrig. Drain. E.*, vol.128, no. 6, December, 2002.
- [5] Y. Saad. "Krylov Subspace Methods part II" in *Iterative Methods for Sparse Linear System*, 2nd Ed., SIAM, Philadelphia, PA, pp. 229-258, 2003.
- [6] C. F. Gerald. and Wheatley, P. O., "Solving Sets of Equations" in *Applied Numerical Analysis*, 4th Ed., Addison-Wesley Publishing Company, New York, NY, 1992.
- [7] B. Babaoğlu. "Application of BiConjugate Gradient Stabilized Method with Spectral Acceleration for Propagation over Terrain Profiles." M.S. Thesis, Bilkent University, Ankara, Turkey, 2003.
- [8] F. Santiago-Collazo and W. Silva-Araya. "Computation of Gradually Varied Flow in Channel Networks with Hydraulic Structures", *Jour. Irrig. Drain E.*, 145 (6); 2019.
- [9] G. W. Brunner. "HEC-RAS River System Analysis, V.5.0 User's Manual", US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, February 2016.

# Producción de biodiesel a partir de semillas de *Argemone pleiacantha* Greene

## Biodiesel production from *Argemone pleiacantha* Greene seeds

Ricardo Trejo-Calzada<sup>1</sup>, Elena del Carmen Villarreal-Ornelas<sup>2</sup>,  
Ignacio Sánchez-Cohen<sup>3</sup>, Miguel Agustín Velásquez-Valle<sup>4</sup>,  
Mali Nay BuendíaTamariz<sup>5</sup>

Trejo-Calzada, R; Villarreal-Ornelas, E; Sánchez-Cohen, I; Velásquez-Valle, M; Buendía-Tamariz, M. Producción de biodiesel a partir de semillas de *Argemone pleiacantha* Greene. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 109-114.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4268>

- 1 Doctor en Agronomía. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México. Correo electrónico: rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx
- 2 Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México. Correo electrónico: vioe\_07@hotmail.com
- 3 Doctor en Agronomía. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. México. Correo electrónico: sanchez.ignacio@inifap.gob.mx
- 4 Doctor en Agronomía. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. México. Correo electrónico: velasquez.agustin@inifap.gob.mx
- 5 Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México. Correo electrónico: mali.buendia@hotmail.com





## Palabras clave

Biocombustibles; transesterificación; zonas áridas; recursos naturales.

## 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 y por lo tanto indeseables, pero estudios recientes revelan que sus semillas tienen un alto contenido de aceite, el cual potencialmente se puede emplear para la producción de biodiesel. 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 aceite 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 ( $p < 0.05$ ).

## Keywords

Biofuels; transesterification; arid lands; natural resources.

## Abstract

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 and therefore as undesirable. However, recent studies show that their seeds have a high oil content. The oil could be used for biodiesel production. 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 ( $p < 0.05$ ).

## 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 [1].

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 [2]. 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) [3].

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 [4]. 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 [1].

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 [5]. Es imperante explorar otras especies vegetales que 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 compete 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 [6]. Sin embargo, 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 [7] UNE EN 14104:2003, índice de saponificación de acuerdo con la norma [8] NMX-F-174-SCFI-2014 e índice de peróxido con base en la norma [9] 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 [10], 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 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. pleiacantha*. 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). [10] obtuvieron una transesterificación alta de aceite de palma con una concentración similar y un nivel de REA ligeramente menor al encontrado en este estudio. Por su parte, Meher et al. [11] 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 [12]. En estudio realizado por Buendía-Tamariz et al. [13], 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 [14], en cuyo caso el rendimiento de biodiesel es de 91.3 % a partir de aceite de palma. Asimismo, Cardeño et al. [15] encontraron que al utilizar aceite de palma refinado hubo un mayor rendimiento en FAME comparándolo con aceite de palma crudo y de higuera. [13] 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 [16].

**Cuadro 1.** Rendimiento promedio de biodiesel a partir de aceite de semillas de *A. pleiacantha* 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 ( $S_d$ )
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)

$S_d$  = desviación estándar.

## Conclusiones

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

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

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo a becarias que participaron en este proyecto.

## Referencias

- [1] S. Pinzi, L. García, F.J. López- Giménez, M.D. Luque de Castro, G. Dorado & M.P. Dorado. "The ideal Vegetable oil-based biodiesel Composition: A review of Social, Economical and Technical Implications." *Energy & Fuels*, vol. 23, no. 5, pp. 2325-2341, April 2009.
- [2] F. Lafargue-Perez, M. Díaz-Velázquez, N. Barrera-Vaillant, C. Rodríguez Martínez & J. C. Assuncao-Nascimento. "Caracterización físico- química del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L." *Tecnología química*. Vol. 32, no. 2, pp.162-165, May-Aug 2012.
- [3] L.C. Fernández-Linares, J. Montiel-Montoya, A. Millá-Oropeza & J.A. Badillo-Corona. (2012). "Producción de biocombustibles a partir de microalgas." *Ra Ximhai*, vol. 8, no.3, pp.101-115, September-December 2012.
- [4] G. Bergsma, B. Kampman, H. Croezen, & M. Sevenster. *Biofuels and their global influence on land availability for agriculture and nature. A first evaluation and a proposal for further acting*. Delft CE. The Netherlands, February 2017.
- [5] B.R. Moser & S.F. Vaughn (2010). "Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel." *Bioresource Technology*, vol.101, no. 2, pp. 646-653, January 2010.



- [6] F. Reveles-Saucedo, R. Rosales-Serna, C. Nava-Berúmen, E. Delgado-Lincón, E. Cuellar-Robles, F. Carrete-Carreón & J. Ríos-Saucedo. "Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 1, no. 1, pp. 45-54, Enero-Marzo 2010.
- [7] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Norma UNE-EN 14104:2003. Productos derivados de aceites y grasas; Esteres metílicos de ácidos grasos (FAME); Determinación del índice de acidez. Madrid, España, Septiembre 2003.
- [8] Diario Oficial de la Federación (DOF). Declaratoria de vigencia de las normas mexicanas NMX-109-SCFI-2014, NMX-F-174-SCFI-2014 y NMX-225-SCFI-2014. Secretaría de Gobernación, Estados Unidos Mexicanos. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355911&fecha=11/08/2014](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355911&fecha=11/08/2014). Noviembre 2014.
- [9] Diario Oficial de la Federación (DOF). Declaratoria de vigencia de las normas mexicanas NMX-F-009-SCFI-2010, NMX-F-012-SCFI-2010 y NMX-F-154-SCFI-2010. Secretaría de Economía. Estados Unidos Mexicanos. México. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5178029](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5178029). Enero 2011.
- [10] E.C. Zuleta Suárez, J.D. Bonet Oballe, L.C. Díaz Muegue & M.J. Bastidas Barranco. "Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y etanol mediante el método de superficie de respuesta". *PROSPECTIVA*, vol. 6, no. 1, pp. 75-80. Enero-Julio 2008.
- [11] L.C. Meher, D. Vidya Sagar & S.N. Naik. "Technical aspects of biodiesel production by transesterification- a review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10 no. 3 pp. 248-268, June 2006.
- [12] M.P. Dorado, E. Ballesteros, F.J. López & M. Mittelbach. "Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Brassica carinata oil for biodiesel production." *Energy & Fuels*, vol. 18, no. 1, pp. 77-83, November 2003.
- [13] M.N. Buendía-Tamariz, R. Trejo-Calzada, A. Abiola, A. Pedroza-Sandoval, M.R. Jacobo-Salcedo, M. Reveles-Hernández. "Characterization of Biodiesel Produced from Chicken Fat and Pennycress Oil using Different Concentrations of Basic Catalysts." *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 127-133, June 2015.
- [14] J.E. Murillo Valdés. "Producción de Biodiesel a partir de aceite de palma." *Palmas*, vol. 25, no. 4, pp. 31-42, Noviembre 2004
- [15] F. Cardeño, L. Ríos, & A. Franco. "Producción de Biodiesel de aceite crudo de palma mediante catálisis heterogénea." *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, vol. 51, pp. 81-86, Febrero 2010.
- [16] G. Vicente, M. Martínez & J. Aracil. "Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems." *Bioresource Technology*, vol. 92, no. 3, pp. 297-305, May 2004.

# Cinética del secado de coco por radiación

## Modelling of thin layer radiation drying of coconut

Manuel Umaña-Calderón<sup>1</sup>, Janice Muñoz-Mena<sup>2</sup>,  
Yuliana Pacheco-Retana<sup>3</sup>, Guillermo Vargas-Elías<sup>4</sup>

---

Umaña-Calderón, M; Muñoz-Mena, J; Pacheco-Retana, Y;  
Vargas-Elías, G. Cinética del secado de coco por radiación.  
*Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril  
2019. Pág 115-121.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4269>



- 1 Ingeniero Agrícola. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: manuel.umcal@gmail.com
- 2 Escuela de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: janice.munoz@ucr.ac.cr
- 3 Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: pachecoretanayuliana@gmail.com
- 4 Ingeniero Agrícola. Centro para Investigación en Granos y Semillas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Correo electrónico: gvargase@gmail.com



## Palabras clave

Deshidratación de coco; Transmisión de calor por radiación; Secado de capa delgada; Energía de activación.

## Resumen

El coco es una fruta que puede aprovecharse completamente desde su parte líquida hasta su parte sólida, considerando la parte alimenticia y los residuos. La parte sólida puede utilizarse directamente como alimento, también puede ser procesado para su uso posterior. El secado es un proceso necesario para su conservación, por lo tanto se evaluó el secado por radiación para establecer la relación entre rapidez y temperatura del proceso. Se utilizaron las temperaturas de 60, 80, 100 y 120 °C. El coco fue extraído, molido y homogenizado manualmente. Se utilizó un deshidratador con transmisión de calor por radiación en cuatro temperaturas de proceso. El contenido de humedad fue determinado por la pérdida de masa hasta obtener peso constante en una capa delgada de producto. Se determinó que durante secado, el contenido de humedad es exponencialmente decreciente y el modelo matemático de Midilli se ajustó adecuadamente con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor al 94 %. El efecto de la temperatura en la rapidez del proceso se ajustó con la ecuación de Arrhenius. Se determinó que la energía de activación del proceso de secado por radiación en coco fue de 60,7 kJ/mol. La relación matemática de la rapidez del secado es una doble exponencial que depende directamente de la temperatura y el tiempo de secado.

## Keywords

Coconut dehydration; Radiation heat transfer; Thin layer drying; Activation energy.

## Abstract

Coconut is a fruit that can be totally used, not only its liquid part but also its solid one, including the eatable section and its residues. The solid part can be used as food and also be processed for later use. Drying is a necessary process for its conservation, for that reason radiation drying was evaluated to establish the relationship between speed and temperature. The experiments were conducted at drying temperatures of 60, 80, 100 and 120°C. Coconut pulp was manually scraped, chopped and homogenized. A dehydrator with heat transfer by radiation was used to conduct the experiments. The moisture content of the samples was determined by mass loss to obtain a constant weight in a thin layer of product. It was determined that during the drying process the moisture content decreased exponentially and Midilli model was found to adjust adequately with a coefficient of determination ( $R^2$ ) above 94%. The temperature dependence of the process was satisfactorily described by an Arrhenius type relationship. An activation energy equal to 60,7 kJ/mol was found over the temperature range investigated in the radiation drying process. The mathematical relation of the drying process is a double exponential that depends directly on the temperature and drying time.

## Introducción

El cocotero (*Cocos nucifera L.*) es un árbol cultivado por sus múltiples usos pero principalmente por su valor nutricional y medicinal. La composición del fruto son el agua, el aceite y la copra o pulpa seca del coco, las cuales además de su contenido de nutrientes y microminerales esenciales para la salud poseen características antioxidantes, antiinflamatorias, antibacteriales

e inmunoestimulantes [1]. A pesar de que la extracción del aceite representa el subproducto de mayor importancia industrial del coco [2], el proceso de deshidratación constituye una parte integral de su procesamiento puesto que permite obtener productos con una humedad final del 3% requeridos para su incorporación como ingrediente en la elaboración de chocolates, helados y pastelería [3]. La pulpa prensada obtenida mediante la extracción de la leche de coco representa un problema en los procesos industriales por su gran volumen, pero mediante procesos de deshidratación es posible obtener de igual manera productos tipo harinas de alto valor nutricional [4]. A nivel industrial los procesos de deshidratación se llevan a cabo mediante el uso de aire caliente en túneles de secado, secadores rotatorios y secadores de lecho fluidizado [5]. Otros métodos utilizan el secado por microondas, la deshidratación osmótica y la liofilización [5]. Sumnu *et al* (2005) [6] determinaron que mediante el uso de radiación en conjunto con microondas es posible obtener productos con una humedad final mucho menor y con una capacidad de rehidratación mayor que la obtenida mediante métodos convencionales de secado con aire caliente. En coco la rehidratación es importante puesto que se utiliza en conjunto al tenderizado y el endulzado previo a su industrialización o comercialización [3]. A nivel semi-teórico, se establece que el secado de capa delgada es un método adecuado para determinar la cinética de secado de frutas y vegetales puesto que se incorporan procesos simultáneos de transferencia de calor y masa en un producto totalmente expuesto las condiciones de secado [7], donde los modelos de Newton, Lewis, Page, Henderson-Pabis y Midilli-kucuk establecen los coeficientes y variables del secado de capa delgada [8]. La energía de activación es necesaria para activar el fenómeno de difusión de la humedad en el producto estudiado [9]. Esta energía se obtiene mediante la ecuación de Arrhenius [10] y demuestra la dependencia de la temperatura durante el proceso [11]. La atención del presente estudio fue la determinación de la cinética del secado de capa delgada del coco por el método de radiación, para determinar el efecto de la temperatura en la rapidez del secado por medio de la energía de activación que caracteriza el proceso.

## Materiales y métodos

Los frutos fueron obtenidos de un productor local situado en la región atlántica de Costa Rica. Su mesocarpo o carne fue extraído y molido con un procesador de alimentos tipo licuadora. El producto obtenido se prensó con una manta para eliminar su líquido residual, se empacó herméticamente en una bolsa plástica con cierre zip y se almacenó a temperatura 5°C durante 12 horas para homogeneizar de su humedad. Para determinar el contenido de humedad inicial se utilizaron 3 muestras de 5g deshidratadas mediante una balanza de radiación (400 Watt) A&D modelo MF-50 a una temperatura de 80°C, hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio. Los experimentos se llevaron a cabo por triplicado con temperaturas de 60, 80, 100 y 120°C en el mismo equipo utilizado para la determinación del contenido de humedad inicial. Para determinar el modelo de ajuste del proceso de secado por radiación se registró automáticamente la pérdida de peso de las muestras en periodos de 10 segundos. Los datos de masa húmeda y masa seca en equilibrio fueron convertidos a unidades adimensionales de razón de humedad (MR) mediante la ecuación (1):

$$MR = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Donde  $X_i$ ,  $X$ ,  $X_e$  representan el contenido de humedad (g agua/g producto) en la condición inicial, en un tiempo específico y en la condición de equilibrio respectivamente. Se utilizaron dos modelos de regresión no lineal para determinar el mejor modelo matemático que se adecúa al

proceso de deshidratación mediante el uso de radiación. Dentro de estos, el modelo de Page (2) y el modelo de Midilli (3), donde  $k$  corresponde a la constante de velocidad de secado,  $t$  corresponde al tiempo (min) y las constantes ( $a$ ,  $b$  y  $n$ ) son propias de cada modelo.

$$MR = \exp(-k * t^n) \quad (2)$$

$$MR = a * \exp(-k * t^n) + b * t \quad (3)$$

El modelo de mejor ajuste fue seleccionado como aquel con mayor coeficiente de correlación ( $R^2$ ) y menor error cuadrático medio (RMSE) (ecuación 4), donde  $MR_{pre}$  representa el contenido de humedad predicho,  $MR_{exp}$  el contenido de humedad obtenido y  $N$  el número de observaciones [12] [3].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (4)$$

La energía de activación se obtiene mediante la ecuación de Arrhenius (5):

$$k = b * \exp\left(\frac{-E_a}{R_g * T_K}\right) \quad (5)$$

Al evaluar la relación obtenida entre el logaritmo natural de la constante de velocidad y el inverso de la temperatura a la que se realiza el proceso se obtiene un comportamiento lineal definido por la ecuación (6), donde  $k$  es la constante de la velocidad de secado,  $m$  es la pendiente de la recta ( $-E_a/R_g$ ),  $T$  es la temperatura de secado (K),  $b$  es el intercepto con el eje,  $E_a$  es la energía de activación (J/mol) y  $R_g$  la constante universal de los gases (8,3143 J/mol\*K)

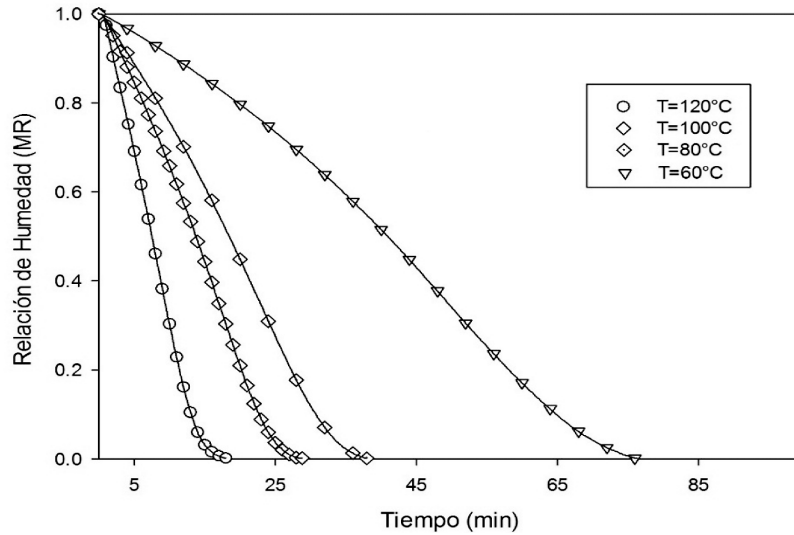
$$\ln k = m * \frac{1}{T} + b \quad (6)$$

## Resultados y discusión

El contenido de humedad inicial del coco fue de 125,2 g agua/g materia seca, resultado del promedio de los valores obtenidos. Los tiempos requeridos para alcanzar un contenido de humedad final de 0,09 g agua/g materia seca fueron de 75, 38, 28 y 18 minutos para las temperaturas de 60, 80, 100 y 120°C. La temperatura tuvo un efecto significativo en el secado. A una mayor temperatura el tiempo de secado se redujo debido al incremento en la presión de vapor de humedad del coco, lo cual aumentó la remoción de humedad. Como es esperado, la disminución de la relación de humedad (MR) al inicio del proceso de secado es rápida y luego este proceso se da lentamente según se acerca el producto a su contenido de humedad de equilibrio (figura 1). El comportamiento inicial se presenta de manera más acelerada para las temperaturas más altas (80, 100 y 120°C). La condición final para estas tres temperaturas se alcanza con diferencias de 10 minutos entre una y otra. El proceso a 60°C tiene una duración de 75 minutos y según se observa en la figura 1 el comportamiento de disminución es más gradual y presentándose una diferencia de 37 minutos con respecto a la temperatura de 100°C.

Visualmente se determinó que a temperaturas bajas (60 y 80°C) el coco conserva su color blanco característico pero a la mayor temperatura (120°C) se presentan condiciones de tostado,

lo que indica que además de la pérdida de humedad se puede estar dando una transformación de su masa.



**Figura 1.** Efecto de la temperatura sobre la razón de humedad de coco rallado.

El cuadro 1 muestra los resultados de los coeficientes de regresión de los modelos matemáticos analizados y el resultado estadístico asociado a estos.

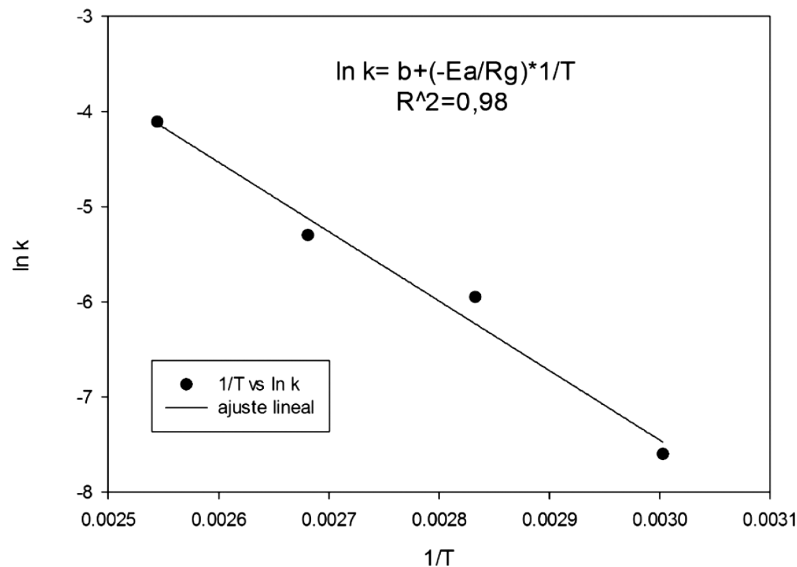
**Cuadro 1.** Coeficientes de regresión de dos modelos matemáticos de secado de coco por radiación

Modelo de secado	Temperatura (°C)	Constantes del modelo	R <sup>2</sup>	RMSE
Midilli MR=a*exp(-kt)+bt	60	k= 0.0005, n=1.8758, a= 0.9671, b= -0.0028	0.9938	0.0251
	80	k= 0.0026, n=1.8776, a= 0.9579, b= -0.0017	0.9670	0.0602
	100	k=0.005, n= 1.8855, a=0.9667, b= -0.0016	0.9526	0.0733
	120	k= 0.0164, n= 1.8198, a= -0.0032, b= -0.9793	0.9976	0.0168
Page MR= exp (-kt)	60	k= 0.005, n= 1.9679	0.9816	0.0380
	80	k= 0.0036, n= 1.8390	0.9616	0.0649
	100	k= 0.0063, n= 1.8495	0.9494	0.0757
	120	k= 0.0167, n= 1.8724	0.9946	0.0250

Para ambos modelos el valor de R<sup>2</sup> fue superior a 0,94 indicando un ajuste satisfactorio. Los valores promedio asociados al coeficiente de regresión para los modelos Midilli y Page corresponden a 0,9777 y 0,9718. Los valores promedio asociados al error medio cuadrático corresponden a 0,0438 y 0,0509 respectivamente. De los resultados obtenidos se indica que el modelo de Midilli genera un mejor ajuste por el mayor valor de R<sup>2</sup> y por el menor valor de RMSE. Tanto para los modelos de Midilli y Page los coeficientes k y n tienden a un comportamiento

constante en el rango de temperaturas analizadas. Sin embargo, a partir de los 100°C los coeficientes a y b del modelo Midilli presentan un comportamiento decreciente.

La pendiente de la regresión lineal permite obtener una energía de activación de 60,7 kJ/mol con un coeficiente de regresión R<sup>2</sup> de 0,98.



**Figura 2.** Regresión lineal entre el logaritmo natural de la velocidad de secado y el inverso de la temperatura absoluta de secado.

El cuadro 2 muestra los valores de la energía de activación del coco obtenidos con otros mecanismos de transmisión de calor para el secado. Se observa que el valor obtenido en el presente estudio es semejante al de las otras investigaciones, esta diferencia puede asociarse principalmente al equipo, la humedad inicial, la masa en estudio, el tamaño de partícula, el estado de madurez y hasta la variedad del fruto.

**Cuadro 2.** Energía de activación de coco en otros procesos de secado

Tratamiento	T (°C)	Dimensiones (mm)	Xi (b.s)	Ea (kJ/mol)	Referencia
Secado por radiación en capa delgada	60 a 120	2mm (diámetro medio)	125,2 ± 0,05	60,8	Trabajo actual
Secado osmótico y convección en capa delgada	50 a 70	6,13 x 10,12 x 30,65	2,33 kg/kg d.b	44,7	[13]
Secado osmótico y convección en capa delgada	50 a 70	4 x 4 x 8 y 2,5 x 2,5 x 5,0	(no indica)	81,1	[3]
Secado en lecho fluidizado en capa delgada	60 a 120	2,28mm (diámetro medio)	105 ± 25	25,9	[11]
Secado osmótico y convección en capa delgada	50 a 70	5 x 5 x 20 mm	125,359±0,003	19,7 a 25,2	[8]

## Conclusiones

La temperatura del proceso afectó directamente la rapidez de secado. Ambos modelos matemáticos seleccionados se ajustaron al proceso con un coeficiente R2 mayor al 94%. Dentro de estos, el modelo de Midilli es considerado como el más preciso, reflejado por  $R^2=0,97775$  y por sus valores bajos de la raíz cuadrática media. La energía de activación obtenida ( $E_a= 60,7$  kJ/mol) se encuentra dentro de un rango de valores determinados en otras investigaciones. El método de radiación es adecuado para el secado del coco rallado a altas temperaturas en una capa delgada.

## Referencias

- [1] M. DebMandal y S. Mandal. "Coconut (Cocos nucifera L.: Areaceae): In health promotion and disease prevention". *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(3), 2011, pp 241-247
- [2] C. Seow y C. Gwee. "Review. Coconut milk: chemistry and technology". *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 1997, pp189-201
- [3] P. Madamba. "Thin layer drying models for osmotically predried young coconut". *Drying Technology*, 21(9), 2003, pp 1759-1780.
- [4] S. Jena y H. Das. "Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake". *Journal of Food Engineering*, 79, 2007, pp 91-99
- [5] A. Casp y J. Abril, J. (2003). "Secado" en *Procesos de conservación de alimentos*. 2 edición. España: Editorial Mundiprensa.
- [6] G. Sumnu *et al.* "Drying of carrots in microwave and halogen lamp-microwave combination ovens". *LWT – Food Science and Technology*, 38(5), 2005, pp 549-553
- [7] D. Onwude *et al.* "Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 2016, pp 599-618
- [8] G. Kamalanathan y R. Meyyappan. "Thin layer drying kinetics of osmotic treated coconut slices by using sugar solution". *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6(3), 2015, pp 1286-1299
- [9] D. Ndapeu *et al.* "Experimental study of the drying kinetics of the coconut shells (Nucifera) of Cameroon". *Materials Science and Applications*, 4(1), 2013, pp 822-830
- [10] L. Petrou *et al.* "The use of the Arrhenius equation in the study of deterioration and cooking of foods: Some scientific and pedagogic aspect". *Science-Technology-Environment-Society (STES)*, 3, 2002, pp 87-97
- [11] T. Madhiyanon *et al.* "Models of fluidized bed drying for thin layer chopped coconut". *Applied Thermal Engineering*, 29, 2009, pp 2849-2854
- [12] R. Assawarachan. "Drying kinetics of coconut residue in fluidized bed". *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2(2), 2013, pp 263-266
- [13] W. Da Silva *et al.* "Osmotic dehydration and convective drying of coconut slices: Experimental determination and description using one-dimensional diffusion model". *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13, 2014, pp 162-168.



# Instrumentación de un generador

## Instrumentation of a generator

Sergio Alexis Valdovinos-Valdovinos<sup>1</sup>, Ovaldo Galicia Galicia-Sánchez<sup>2</sup>, Luis Antonio Castro-López<sup>3</sup>, Bonifacio Gaona-Ponce<sup>4</sup>, Raziel Domínguez-Flores<sup>5</sup>, Juan Carlos Olguín-Rojas<sup>6</sup>

---

Valdovinos-Valdovinos, S; Galicia-Sánchez, O; Castro-López, L; Gaona-Ponce, B; Domínguez-Flores, R; Olguín-Rojas, J. Instrumentación de un generador. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 122-127.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4270>

- 1 Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco, México. Correo electrónico: sergioalexis999@gmail.com
- 2 Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco, México.
- 3 Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco, México.
- 4 Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco, México.
- 5 Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco, México.
- 6 Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco, México.



## Palabras clave

Generador; procesamiento de información; sensores.

## Resumen

En el presente trabajo se diseñó un sistema de instrumentación para medir la potencia producida por un generador de energía eléctrica en W-h. Las variables que se midieron en el sistema fueron: voltaje, corriente eléctrica y velocidad. El sistema está constituido por un sensor divisor de voltaje FZ0430 que mide el voltaje que entra a la batería proveniente del generador, un sensor de corriente ACS712, el cual mide la intensidad de la corriente eléctrica entre el positivo (+) de la batería y el positivo (+) del generador y un sensor V1-SENSORVE para detectar la velocidad dinámica; el cual se activa cuando empieza a funcionar el generador de energía eléctrica. Se realizó un programa bajo la plataforma de Arduino para la adquisición de los datos, análisis y procesamiento de la información de los 3 sensores, mostrando la velocidad y potencia generada en un display LCD de 16x2.

## Keywords

Generator; information processing; sensors.

## Abstract

In the present work, an instrumentation system was designed to measure the power produced by an electric power generator in W-h. The variables that were measured in the system were: voltage, electric current and speed. The system consists of a voltage divider sensor FZ0430 that measures the voltage that enters the battery from the generator, an ACS712 current sensor, which measures the intensity of the electric current between the positive (+) of the battery and the positive (+) of the generator and a V1-SENSORVE sensor to detect the dynamic speed; which is activated when the electric power generator starts to work. A program was carried out under the Arduino platform for the acquisition of the data, analysis and processing of the information of the 3 sensors, showing the speed and power generated in a 16 × 2 LCD display.

## Introducción

El área de instrumentación electrónica se refiere al diseño, desarrollo y análisis de una clase particular de sistemas electrónicos para acondicionar o acoplar señales de sensores analógicos o digitales, así como el procesamiento de esta información a través de microprocesadores para automatizar diversos procesos. Adicional a la etapa del acondicionamiento de la señal, también se encuentra el microprocesador como la parte central de las tarjetas de instrumentación electrónica, a través de este dispositivo es donde se realiza la adquisición de los datos, análisis y procesamiento de la información, ejecución de programas que coordinan el entorno entre periféricos, interface electrónica, envió de comandos a los servoamplificadores o dispositivos de potencia para la adecuada automatización del proceso. A pesar que en la actualidad existen una gran cantidad de tarjetas de instrumentación, modelos y marcas, una opción muy interesante es la plataforma en arquitectura abierta que ofrece las tarjetas de instrumentación electrónica Arduino. Este tipo de tarjetas son sistemas empotrados que permiten la programación de un amplio número de aplicaciones (Reyes, et al, 2013).

En el presente se describen las actividades que se siguieron para dotar de tres sensores un sistema de generación de energía eléctrica adaptado a una bicicleta estacionaria. Un sensor se instaló en el eje de la rueda de inercia para medir la velocidad angular en rpm, otro sensor se instaló en una línea de salida del generador para medir la intensidad de corriente producida y el último sensor se instaló en las dos líneas de salida del generador para medir la diferencia de potencial de salida.

Se comprobó que los valores obtenidos en los tres sensores pueden ser visualizados en el display LCD de 16x2 y guardados en la memoria del microcontrolador Arduino para su posterior análisis.

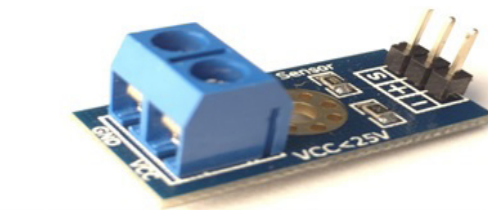
## Materiales y metodología

El sistema que se instrumentó se compone de 1 bicicleta estacionaria y 1 sistema de generación.

Para calcular la potencia producida por el generador se midió la intensidad eléctrica con 1 sensor de corriente ACS712-05A, 1 sensor divisor de voltaje FZ0430, 1 sensor de velocidad V1-SENSORVE, 1 display LCD de 16x2 y 1 microcontrolador Arduino Uno.

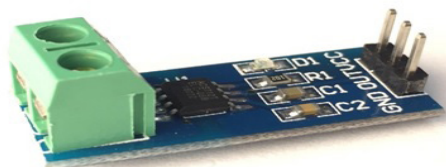
Para el diseño del sistema de instrumentación electrónico se realizaron algunas pruebas previas para poder elegir el rango de operación de algunos sensores. Las características y disposición de los 3 sensores para la toma de los datos se describen a continuación:

1. El sensor de voltaje FZ0430 (figura 1), es un divisor de tensión con resistencias de 30 kOhm y 7.5 kOhm, el cual mide tenciones de hasta 25 V en corriente directa. Este se conectó directamente a la batería, es decir, el positivo (+) y negativo (-) de la bornera del sensor con el positivo (+) y negativo (-) de la batería.



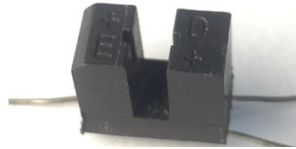
**Figura 1.** Sensor de voltaje FZO430. Fuente propia.

2. Para la lectura de la corriente eléctrica se utilizó el sensor ACS712-05A (figura 2), internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo, este mide corrientes menores a 5 A. El sensor fue colocado entre el positivo (+) de la batería y el positivo (+) del generador.



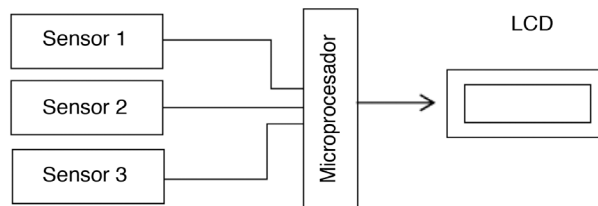
**Figura 2.** Sensor ACS712-05A. Fuente propia.

3. El sensor V1-SENSORVE (figura 3), fue instalado en el eje de la rueda de inercia de la bicicleta, el cual mide la velocidad angular. Este sensor se activa cuando empieza a funcionar el generador de energía eléctrica. El módulo incluye un sensor de herradura el cual funciona por infrarrojo, está compuesto por un comparador de referencia LM393 el cual se encarga de entregar señales de 1 lógico y 0 lógico a través de un emisor y un receptor infrarrojo que al poner un objeto en medio este envía la señal al microprocesador.



**Figura 3.** Sensor V1-SENSORVE. Fuente propia.

Para procesar los datos de los diferentes sensores, se utilizó un microprocesador Arduino Uno, en el cual se realizó la programación para calcular la potencia generada.

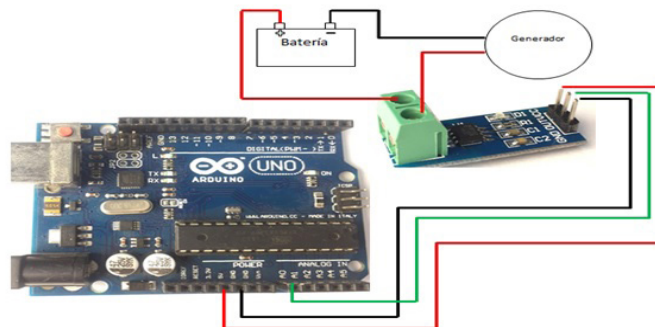


**Figura 4.** Esquema general de conexión. Fuente propia.

## Resultados

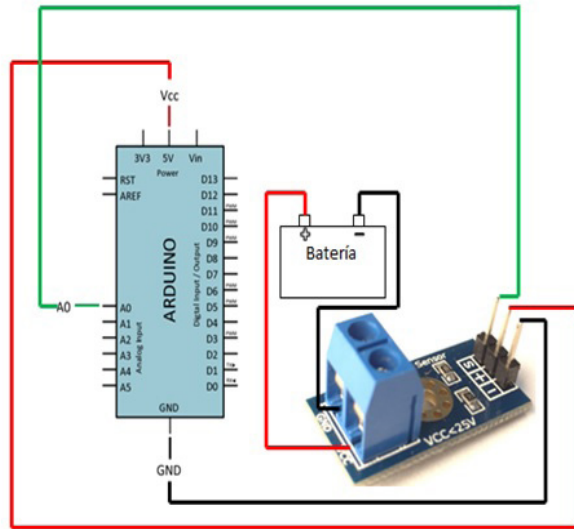
En los resultados se tiene el diseño del sistema de instrumentación. Para ello se realizaron las siguientes conexiones de los 3 sensores con el microprocesador Arduino Uno.

- El sensor de corriente ACS712-05A fue instalado en línea entre la salida positiva del alternador y el borne positivo de la batería (figura 5). Se conectó mediante conductores calibre 22 al microcontrolador Arduino Uno. Posteriormente se realizó el programa para realizar un registro cada segundo.



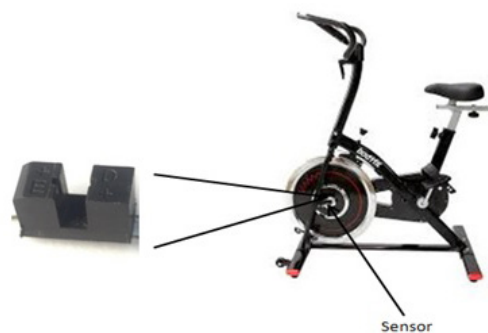
**Figura 5.** Conexión entre el sensor de corriente ACS712-05A y Arduino. Fuente propia.

- La conexión del sensor FZ0430 se realizó de la siguiente manera (figura 6), por un lado se conectó directamente la batería con la clema de conexión del sensor, respetando la polaridad. Por otro lado, se conectó la electrónica del módulo a Arduino. Conectando Gnd, Vcc y SIG del FZ0430, respectivamente, a Gnd, Vcc (5V) y A0 de Arduino.



**Figura 6.** Conexión entre el sensor de voltaje FZ0430 y Arduino. Fuente propia.

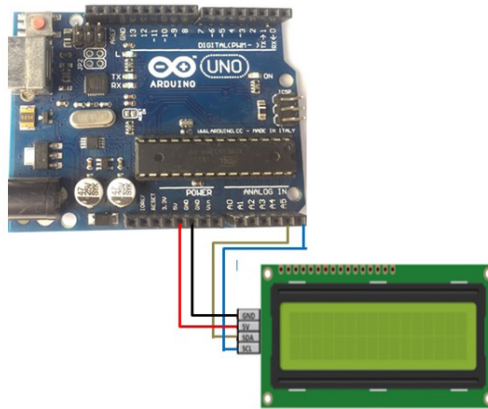
- El sensor de velocidad fue conectado con Arduino de la siguiente manera (figura 7), los pines GND, VCC y D0 del sensor V1-SENSORVE, se conectaron respectivamente, a GND, Vcc (3.3V) y al puerto digital (D0) de Arduino.



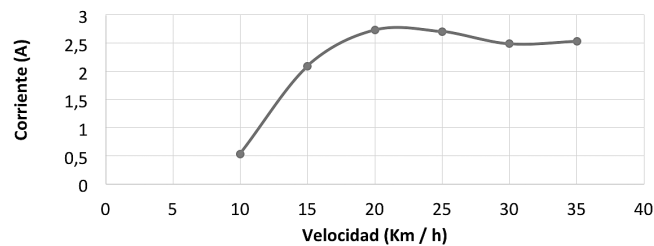
**Figura 7.** Conexión del sensor de velocidad. Fuente propia.

- La conexión entre el microprocesador y el display se realizó mediante conductores calibre 22, conectando simplemente el puerto analógico A4 de Arduino a SDA (Datos) y A5 a SCL, más GND y alimentación (5V). Ver figura 8.

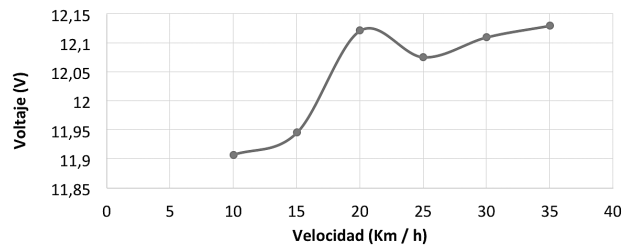
Con los resultados que se obtuvieron de la corriente y la diferencia de potencial, se hicieron las figuras 9 y 10 para observar el comportamiento de éstas y así establecer los valores máximos del funcionamiento del sistema instrumentado.



**Figura 8.** Conexión entre el display y Arduino. Fuente propia.



**Figura 9.** Corriente producida a diferentes velocidades.



**Figura 10.** Voltaje producido a diferentes velocidades.

## Conclusiones

El sistema de instrumentación electrónica propuesto tuvo resultados satisfactorios, obteniendo diversas conclusiones que se dictan a continuación:

- El objetivo propuesto se alcanzó en su totalidad, ya que se diseñó un sistema preciso, de uso rudo, fácil de manejar y de bajo costo.
- En la calibración del sistema fue fácil llegar a una precisión alta, esto porque la curva de respuesta mantiene una relación lineal.

## Referencias

- Reyes, Cid Vargas, 2013. Mecatrónica. Control y Automatización. Primera edición. Alfaomega. México.
- Cooper, Helfrick, 1991. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición. Primera edición. Pearson. México.
- Creus, 2010. Instrumentación Industrial. Octava edición. Alfaomega. México.



# Distribuição longitudinal de fertilizante granulado em diferentes inclinações e posição da rosca de um dosador de rosca helicoidal dupla

Longitudinal distribution of granulated fertilizer in different tiltings and position of the thread position of a double helicoidal doser

Júnior Verardi<sup>1</sup>, David Peres da Rosa<sup>2</sup>, Artur Zancan<sup>3</sup>, Paulo Conte<sup>4</sup>, Marcos Longaretti<sup>5</sup>, Roger Toscan Spagnolo<sup>6</sup>

Verardi, J; Peres da Rosa, D; Zancan, A; Conte, P; Longaretti, M; Toscan-Spagnolo, R. Distribuição longitudinal de fertilizante granulado em diferentes inclinações e posição da rosca de um dosador de rosca helicoidal dupla. *Tecnologia em Marcha*. Vol. 32, Especial. XIII CLIA. Abril 2019. Pág 128-134.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4272>

- 1 Acadêmico do curso bacharel em Agronomia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – Campus Sertão (RS) bolsista BICTES/IFRS, Núcleo de Estudos em Solos e Máquinas Agrícolas (NESMA). Brasil. E-mail: junior.verardi@hotmail.com
- 2 Eng. Agríc., Prof. Dr do IFRS – Campus Sertão, Sertão – RS, NESMA. Brasil. E-mail: david.darosa@sertao.ifrs.edu.br
- 3 Acadêmico do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – Campus Sertão, Sertão - RS, NESMA. Brasil. E-mail: zancan.artur@gmail.com
- 4 Acadêmico do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – Campus Sertão, Sertão - RS, NESMA. Brasil. E-mail: pauloconte20@gmail.com
- 5 Acadêmico do curso Bacharel em Agronomia do IFRS – Campus Sertão, Sertão - RS, NESMA. Brasil. E-mail: marcos.longaretti@hotmail.com
- 6 Eng. Agríc., Prof. Dr da UFPel, Pelotas – RS. Brasil. E-mail: roger.toscan@gmail.com



## Palavras chave

Rosca dupla; coeficiente de variação; teste de bancada.

## Resumo

A distribuição de fertilizante por dosadores de rosca helicoidal é um fator essencial para o estabelecimento e rendimento das culturas. O objetivo do trabalho foi mensurar a eficiência de um novo dosador de fertilizante de rosca dupla. O experimento foi realizado em bancada de teste com uma esteira ( $5.4 \text{ km h}^{-1}$ ), empregando delineamento inteiramente casualizado. Foi usado dose fixa de  $220 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo que foram testadas 3 roscas (22mm, 17mm, e 34mm) trabalhando a 54 rpm. Cada teste era realizada coletas a cada 0.09 m em um total de 5.4m, sendo simulado 3 inclinações longitudinais:  $0^\circ$ ;  $-11^\circ$  e  $+11^\circ$ , e 4 posições de acoplamento da rosca no equipamento, posição A - as duas roscas na mesma posição, B - rosca da direita posicionada para cima, C - roscas totalmente contrárias e D - rosca da direita para baixo, com 3 repetições. Como parâmetro avaliador foram: coeficiente de variação (CV) distribuição do fertilizante em relação a inclinação de trabalho e posição das roscas e amplitude de distribuição. Não houve diferença significativa entre as inclinações testadas, em nível o CV médio foi de 36.29%, em  $-11^\circ$  foi de 37,11% e  $+11^\circ$  foi 36.57%. Diferenças ocorreram nas diferentes posições de trabalho e tipo de roscas, sendo CV na posição A de 38.65%, B 37.18%, C 35.63% e D 35.18%. O dosador, apresenta uma variação da distribuição relativamente alta, quanto menor o passo da rosca menor é a variação da distribuição, sendo que a posição de encaixe da rosca não altera significativamente desempenho.

## Keywords

Double thread; coefficient of variation; bench test.

## Abstract

The distribution of fertilizer by helical screw feeders is an essential factor for the establishment and yield of the crops. The objective of this work was to measure the efficiency of a new fertilizer of double thread fertilizer. The experiment was carried out on test bench with a treadmill ( $5.4 \text{ km h}^{-1}$ ), using a completely randomized design, using a test bench equipped with a treadmill. A fixed dose of  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  was used, and 3 threads (22mm, 17mm, and 34mm) were tested at 54 rpm. Each test was performed every 0.09 m in a total of 5.4 m, being simulated 3 longitudinal slopes:  $0^\circ$ ;  $-11^\circ$  and  $+11^\circ$ , and 4 thread coupling positions in the machine, position A - the two threads in the same position, B - the right thread facing up, C - totally opposite threads and D - , with 3 replicates. The coefficient of variation (CV) fertilizer distribution in relation to the working slope and the position of the threads and amplitude of distribution were as parameters. There was no significant difference between the slopes tested, in level the mean CV was 36.29%, in  $-11^\circ$  was 37.11% and  $+11^\circ$  was 36.57%. Differences occurred in the different work positions and type of threads, with CV at position A of 38.65%, B 37.18%, C 35.63% and D 35.18%. The dosage shows a relatively high variation of the distribution, but in contrast, this variation does not vary significantly in the factors studied.

## Introdução

A deposição de fertilizante no solo tem grande importância na obtenção de elevadas produtividades das culturas, estas são dependentes da adubação ao longo de seu cultivo, e os mecanismos dosadores assumem papel determinante neste processo. Os dosadores possuem alguns influenciadores, destes cita-se sua configuração interna, condições de relevo, umidade e tipo de fertilizante.

O ângulo de trabalho do dosador influencia na distribuição de fertilizante, principalmente em terrenos ondulados, como no caso do estado do Rio Grande do Sul - Brasil, assim, o tipo de dosador empregado, afeta a distribuição e a taxa de adubo dosado. Em estudo com diferentes tipos de dosadores de rosca helicoidal, trabalhando em diferentes inclinações longitudinais, [2] as inclinações utilizadas no estudo acarretaram em variação significativa na dosagem de fertilizante granulado. Outro parâmetro que tem influência na distribuição do fertilizante é a espaço que existe no interior do dispositivo dosador, entre a rosca helicoidal e o eixo de transmissão, [1] reduzindo esse espaço há melhoraria na distribuição de fertilizante. A variação na distribuição pode interferir diretamente na produtividade e na rentabilidade do agricultor, pois nos pontos de excesso na linha poderá causar danos à semente ou ao seu sistema radicular, bem como, ao contrário, a falta que não irá suprir adequadamente as necessidades da planta, limitando o rendimento [3].

Um dos principais problemas encontrados em semeadoras é a elevada amplitude de distribuição de fertilizante, com coeficientes de variação podendo chegar até 50%, conforme há alteração da vazão ou da velocidade de trabalho [5]. [8] os problemas enfrentados na semeadura, na maioria das vezes não conseguem ser recuperados no decorrer do ciclo da cultura, influenciando negativamente no seu desempenho final.

No mercado atual do Brasil, os dosadores são compostos com uma rosca helicoidal como mecanismo dosador, nesse ponto, surge um dosador com duas roscas que trabalham em sentidos opostos, buscando segundo fabricante eliminar os pulsos com a rotação contrário entre as mesmas, o que gera dúvidas quanto ao seu desempenho, e nesse sentido esse trabalho teve objetivo de avaliar o desempenho do mecanismo dosador de fertilizantes do tipo rosca helicoidal dupla, em diferentes inclinações de trabalho, diferentes tipos e posições de rosca na dosagem de fertilizante granulado.

## Materiais e métodos

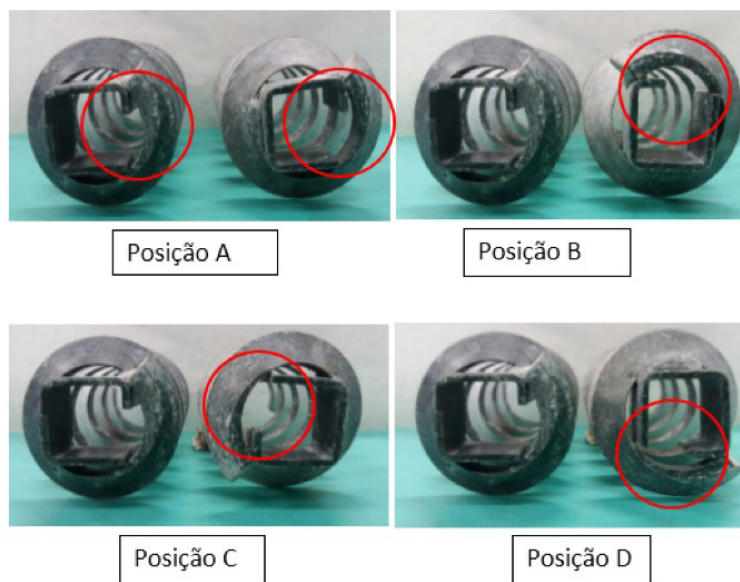
O experimento foi desenvolvido no IFRS - *Campus Sertão* no Núcleo de Estudos em Solos e Máquinas agrícolas no ano de 2017. Para qualificação do dosador, testes foram realizados em laboratório utilizando-se uma bancada de testes de dosadores de fertilizante (figura 1), equipada com regulagens de inclinação em sentido longitudinal e transversal. Na parte inferior, foi colocado uma esteira acionada por um motor de indução com velocidade constante de 5.4 km.h<sup>-1</sup>. O dosador é acionado por um motor elétrico de 1 cv de potência nominal, combinado a um sistema de motoredução controlados por um CLP da marca WEG®. O dosador utilizado para o ensaio foi do tipo rosca helicoidal dupla trabalhando a uma rotação de 54 rpm. Foi empregado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3x4 (3 repetições), sendo o primeiro fator inclinação de trabalho do dosador, o segundo 3 passos de rosca (figura 2) e 4 posições de acoplamento das roscas no eixo do equipamento (figura 3). As inclinações foram de + 11°, 0° e - 11°, as roscas helicoidais utilizadas foram 22mm, 17mm, e 34mm, o posicionamento das roscas foram em todos os sentidos possíveis, sendo que a rosca do lado esquerdo do dosador permaneceu sempre na mesma posição e a segunda foi alterada, sendo a posição A - as duas roscas estavam na mesma posição, B - rosca da direita com o bocal de acoplamento posicionada para cima, C - roscas totalmente contrárias e D - rosca da direita para baixo. O fertilizante utilizado nos testes foi o NPK 2-20-20 com uma dose fixa de 220 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1.** Inclinações de trabalho do dosador de rosca helicoidal dupla nos testes.



**Figura 2.** Roscas helicoidais testadas no ensaio.



**Figura 3.** Diferentes posições de encaixe da roscas helicoidais duplas ao eixo motor testadas no ensaio.

Para coleta do fertilizante dosado utilizou-se uma calha de metal com as dimensões de 0.09 x 5.4m, na qual foram dispostos 60 potes coletores de polietileno com dimensões de 0.09x 0.09m, um ao lado do outro, sem deixar espaço entre eles. Essa calha coletora foi colocada sob

a esteira da bancada, sendo que esta era responsável pela movimentação da calha, simulando uma distribuição linear do fertilizante. Onde foi avaliado o coeficiente de variação (CV) da distribuição linear de fertilizante granulado em diferentes condições de trabalho.

Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e submetidos à avaliação estatística, que constou de uma análise descritiva, teste de variância, e comparação de médias pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, todas realizadas pelo Assitat 7.7 beta [7].

## Resultados e discussão

Ao observar a tabela 1, notasse que não houve variação significativa no coeficiente de variação da distribuição linear de fertilizante entre as diferentes inclinações de trabalho impostas no dosador de rosca dupla, os valores obtidos ficaram em torno de 36% de variação, embora seja elevado, o dosador não varia com o relevo, fator que possibilita maior acurácia na qualidade na adubação em locais que possuem relevos acidentados. [2] demonstraram que todas as inclinações proporcionaram variação significativa na dosagem em função da inclinação longitudinal, tanto em dosador de rosca helicoidal por transbordo ou por gravidade, sendo submetidos a inclinações de 10°, 5°, 0°, -5°, -10°.

Em relação ao tipo de roscas empregadas no dosador (tabela 1), a rosca 17mm apresentou a menor variação na distribuição, variando de 31.58 a 35.54%, sendo que a melhor condição de trabalho foi 0°, que diferiu da rosca 22mm e 34mm que não diferiram entre si. Esta condição de inclinação não favoreceu a distribuição das roscas 22mm e 34mm, sendo que não houve uma tendência, a primeira teve menor variação quando estava trabalhando em aclave, ou seja, com o trator subindo, com 35.68% de variação, já rosca 34mm foi na +11°, contudo não diferiu das demais roscas. Deste modo deduzimos que, o menor passo da rosca, teve a menor variação na distribuição do fertilizante na dosagem utilizada. [4] estudando diferentes dosagens de fertilizante em dosadores de rosca helicoidal, constatou que quanto maior a dose utilizada, menor é o CV na distribuição de fertilizante.

**Tabela 1.** Coeficientes de variação da dosagem (%) de fertilizante granulado pelo mecanismo dosador nos diferentes tipos de rosca e inclinações de trabalho.

Inclinações	Passo da rosca		
	22mm	17mm	34mm
0°	38.53aA	31.58aB	38.75aA
+ 11°	39.52aA	35.54aA	36.28aA
- 11°	35.68aB	33.44aB	40.1aA

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, ou minúscula na coluna não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na combinação posição da rosca e inclinação (tabela 2), as menores variações na distribuição foram obtidas quando o dosador estava com a posição de rosca C e em declive, obtendo uma

variação de 31.84% e também quando o dosador estava em nível ( $0^\circ$ ) com as roscas na posição D, com variação de 33.35%, no restante das situações a variação ficou em torno de 37%.

Quando observamos a posição das roscas, percebemos que as posições A e B não diferiram significativamente nos ângulos  $0^\circ$  e  $+11^\circ$ , diferença houve apenas nos  $-11^\circ$ , em que a posição C, menor coeficiente de variação diferiu de todas posições exceto a D. Trabalhos com alteração da posição não há na bibliografia, bem como, testando esse dosador que está há um ano somente no mercado.

**Tabela 2.** Coeficientes de variação de dosagem (%) de fertilizante granulado pelo mecanismo dosador na interação posição de encaixe da rosca com inclinação de trabalho.

Inclinações	Posição da rosca			
	A	B	C	D
$0^\circ$	38.80aA	36.51abA	36.51abA	33.35aAB
$+11^\circ$	38.18aA	34.43bA	38.55aA	37.30aA
$-11^\circ$	38.98aA	40.59aA	31.84bB	34.89aA

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, ou minúscula na coluna não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na interação passo da rosca com posição de encaixe da mesma (tabela 3) novamente o menor passo (17mm) apresentou os menores variações dos tipos de roscas, sendo que a melhor posição foi a posição D para essa rosca, com 32.23% que não diferiu entre as posições de encaixe, mostrando que nesse tipo de rosca tanto faz a forma de montagem da mesma. Tal fato deve estar ligado que no menor passo os pulsos são reduzidos.

Aqui é visível que o maior passo da rosca, maiores são as variações, confirmando que independentemente da posição da inclinação, menores passos apresentam as maiores variações.

**Tabela 3.** Coeficientes de variação de dosagem (%) de fertilizante granulado pelo mecanismo dosador na interação da posição de encaixe da rosca com o tipo de passo rosca.

Passo da rosca	Posição da rosca			
	A	B	C	D
22mm	37.16bAB	38.75aAB	41.05aA	34.68abB
17mm	33.51bA	36.05aA	32.31bA	32.23bA
34mm	45.29aA	36.74aB	33.52bB	38.62aB

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, ou minúscula na coluna não diferiram estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



## Conclusões

O dosador de rosca helicoidal dupla apresenta coeficiente de variação da distribuição linear de fertilizante granulado média de 36%, este não tem variação em relação as inclinações de trabalho. Quanto menor o passo da rosca menor é a variação da distribuição, sendo que a posição de encaixe da rosca não gera alterações significativas no seu desempenho.

## Referencias

- [1] G. J. Bonotto. *Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas*. Tese de Doutorado. Centro de Ciências Rurais - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, UFSM. Rio Grande do Sul, 2012.
- [2] M.F.P Ferreira, et al. *Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal*. Engenharia na agricultura., vol. 18, no. 4, pp. 297-304, 2010.
- [3] L. Pagnussat, et al. *Pulso e eficiência de dosadores de rosca sem fim em função da dosagem*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, nº 43, Fortaleza/CE.2013.
- [4] L. Pagnussat, et al. *Eficiência de dosadores helicoidais em função da dosagem na cultura da soja*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, no. 44, Campo Grande/MS.2014.
- [5] J.A. Portella; A. Sattler; A. Faganello. *Regularidade da distribuição de sementes e de fertilizantes em semeadoras para plantio direto de trigo e soja*. Engenharia Agrícola., vol. 17, no. 4, pp.57-64, 1998.
- [6] A. Sattler; J. A. Portella; A. Faganello. *Estudo preliminar da vazão de um fertilizante sólido em semeadoras-adubadoras*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, no. 31, Pelotas/RS. 1999.
- [7] F.A.S.E. Silva; C. A. V. Azevedo. *Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance*. In: World Congress on Computers in Agriculture, no. 7, Reno-NV-USA. 2009
- [8] A.V. dos. Reis. Erros na semeadura. *Cultivar Máquinas.*, vol. 1, no. 2, pp. 12-13, 2001.