



TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenido

Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia Evolution and Trends of Indexes of Reliability in Electrical Systems of Power <i>Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez</i>	3
Technical and economic feasibility of adding pure oxygen for rotifer production (<i>Brachionus plicatilis</i>) spotted snapper (<i>Lutjanus guttatus</i>) larvae feeding Factibilidad Técnica y económica de dos sistemas de producción intensiva de rotíferos (<i>Brachionus plicatilis</i>) para la alimentación de larvas de pargo manchado (<i>Lutjanus guttatus</i>) <i>María del Milagro Carvajal-Oses, Roel Campos-Rodríguez, Ángel Herrera-Ulloa</i>	14
Elementos para el diseño de una estrategia que promueva la creación de <i>spin-offs</i> académicas en las universidades públicas costarricenses Elements for designing a strategy to support the creation of academic <i>spin-offs</i> in Costa Rican public universities <i>Mauricio Monge-Aguero, Antonio Juan Briones-Peñalver, Domingo García- Pérez-de-Lema</i>	25
Cobertura de la disposición de excretas en Costa Rica en el periodo 2000-2014 y expectativas en el 2021 Excreta disposal coverage in Costa Rica from 2000 to 2014 and outlook for 2021 <i>Darner A. Mora-Alvarado, Carlos F. Portuguese-Barquero</i>	43

Effects of Power Distance Diversity within Workgroups on Work Role Performance and Organizational Citizenship Behavior

Raquel Durán-Brizuela, Grettel Brenes-Leiva, Martín Solís-Salazar, Federico Torres-Carballo 63

Establecimiento in vitro de (*Vaccinium consanguineum*), un arándano nativo de Costa Rica

In vitro establishment of (*Vaccinium consanguineum*), a native blueberry from Costa Rica.

Vilma Jiménez-Bonilla, Ana Abdelnour-Esquivel..... 77

Evaluación electroquímica de soldaduras en tubos capilares de Incoloy 825

Electrochemical evaluation of Incoloy 825 welds tubs

Javier E. Rodríguez-Yáñez, Ericka Saborío-Leiva, Daniel Mora-Montoya...
..... 85

Potencial de fabricación de pellets de residuos forestales de (*Cupressus lusitanica*) y (*Tectona grandis*) en Costa Rica

Pellet manufacturing potential of forest residuals of (*Cupressus lusitanica*) and (*Tectona grandis*) in Costa Rica

Carolina Tenorio, Roger Moya, Jorre Valaert, Mario Tomazello-Filho 95

Diseño y validación de una herramienta tecnológica dirigida a pymes para realizar autodiagnósticos sobre el cumplimiento de requisitos de la Norma Pyme y la Norma Nacional para demostrar la carbono-neutralidad en Costa Rica

Design and validation of a Technological Tool aimed at SMEs to self-assessment compliance with requirements of the SMEs Standard and the National Standard to demonstrate Carbon Neutrality in Costa Rica

Ariel Porras-Rozas, Teresa Salazar-Rojas 110

Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum L.*) cultivado bajo invernadero en Costa Rica

Effect of pruning and plant density on yield and quality of bell pepper (*Capsicum annuum L.*) grown under greenhouse conditions in Costa Rica

José Eladio Monge-Pérez 125

Percepción comunitaria de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble-Puntarenas, Costa Rica

Community perception of odors generated by the Wastewater Treatment Plant El Roble-Puntarenas, Costa Rica

Luz Elena Sáenz, Diana A. Zambrano, Jorge A. Calvo..... 137

Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia

Evolution and Trends of Indexes of Reliability in Electrical Systems of Power

Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez¹

Fecha de recepción: 27 de marzo del 2015
Fecha de aprobación: 6 de agosto del 2015

Gómez-Ramírez, G. Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 3-13.

¹ Msc. Ingeniero de Alta tensión Instituto Costarricense de Electricidad. Docente, Escuela de Ingeniería Electromecánica Instituto Tecnológico de Costa Rica y Escuela de Ingeniería Eléctrica Universidades de Costa Rica. Teléfono: (506) 2550 9354. Correo electrónico: ggomez@itcr.ac.cr.

Palabras clave

Probabilidad; confiabilidad; tasas de fallas; índices de gestión; mantenimiento.

Resumen

La función básica de un sistema de potencia es abastecer de energía eléctrica a los clientes de forma económica y eficiente, así como proveer un servicio tan eficaz como sea posible. Sin embargo, existen ciertas restricciones que afectan de manera considerable el cumplimiento de estos objetivos. Algunas de ellas se relacionan directamente con la calidad del abastecimiento, como, por ejemplo, *las variaciones en tensión de barras y de la frecuencia industrial*. Los diseñadores, planificadores y operadores de los sistemas eléctricos de potencia han tomado en cuenta estos problemas. Muchas de las técnicas desarrolladas tienen el objetivo de atender y resolver el dilema, a pesar de las limitaciones económicas de operación y mantenimiento. Los índices de confiabilidad son una muestra de tales técnicas, diseñadas a través del tiempo con el fin de cuantificar los eventos relacionados tanto con su operación como los estados de mantenimiento y fallas, entre otros, en los diversos periodos del año, debido a la afectación para los clientes y especialmente por las pérdidas económicas que producen. En la siguiente nota técnica se analiza la evolución de los índices de confiabilidad y se explican las diversas técnicas de análisis. Asimismo, se desarrolla un ejemplo aplicado a un sistema de potencia eléctrica.

Keywords

Probability; reliability; rates of faults; indexes of management; maintenance.

Abstract

The basic function of a system of power consists of the supply of electric power to the clients, economic, efficient form, and to provide an effective service. Nevertheless, there exist certain restrictions that they affect considerably in order that such a situation is fulfilled. Some of them, they are related directly to the quality of service, between that we can mention: *Variations in tension of bars and of the industrial frequency*. These problems have been taken in consideration by designers, gliders and operators of the electrical systems of power. Many of the technologies that have been developed by a lot of time are to attend and to solve the dilemma, in spite of the economic limitations of operation and maintenance. The indexes of reliability are a sample of them, so across the time, have been designed, in order to quantify the events related so much in his operation, as the conditions of maintenance, faults, between others in the diverse periods of the year, especially for the affectation to the clients and first of all the economic losses that can produce. In the following technical note the evolution is analyzed of these in the time and the diverse technologies are explained for the analysis. Likewise there develops an example applied to a system of electrical power.

Introducción

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un componente, subsistema o sistema desempeñe adecuadamente sus funciones durante el período de tiempo previsto y bajo las condiciones de operación usuales.

Esta definición incluye cuatro conceptos importantes:

- *Probabilidad*: Las características aleatorias asociadas al sistema hacen que el análisis no

pueda ser determinístico. Esto hace que sea necesario aplicar conceptos de probabilidad y estadística para lograr una mejor evaluación del funcionamiento del sistema.

- *Funcionamiento adecuado*: Esto involucra que el sistema tenga continuidad en el servicio, una buena regulación de tensión así como un buen control de la frecuencia.
- *Período de tiempo previsto*: Es el intervalo durante el cual el componente del sistema o subsistema debe estar operando continua o esporádicamente, según sea la función específica que tenga asignada. Un ejemplo de operación esporádica son los elementos que trabajan solo en horas pico de la demanda, como en el caso de un banco de capacitores.
- *Condiciones de operación*: Estas condiciones pueden ser constantes o variables, según el lugar donde se localice el sistema. Por ejemplo, las condiciones climatológicas determinan el incremento o decremento del número de fallas en los componentes.

Planteamiento de la técnica

Entre las primeras técnicas utilizadas están las *evaluaciones determinísticas* (Montmeat, Gaver, & Patton, 1964), basadas en muchos procedimientos que se emplean aún en la actualidad. Este criterio refleja la probabilidad o naturaleza estocástica del comportamiento del sistema de potencia, así como de la demanda y las fallas en los componentes eléctricos.

La necesidad de una *evaluación probabilística* del comportamiento del sistema fue establecida desde 1930 (Allan, Dialynas, & Homer, 1979) y se ha cuestionado el hecho de que estas técnicas no se usaran ampliamente en el pasado. La principal razón fue la pérdida de datos, limitantes de los sistemas de cómputo y no tener modelos matemáticos claros y acertados. Las técnicas probabilísticas han sido bien desarrolladas hasta la fecha. Estas incluyen, dentro de la evaluación de confiabilidad, el análisis de los siguientes aspectos:

- *Flujo de carga probabilístico*
- *Estabilidad transitoria probabilística*

Es necesario considerar el comportamiento estocástico de los sistemas, así como la entrada de eventos que son variables probabilísticas. Debido a la importancia no solo de cuantificar los eventos en la red sino de analizarlos desde un punto de vista cuantitativo y así tomar en cuenta estos valores para mejorar y dar continuidad al servicio al cliente, se inicia en 1964 con Montmeat y otros al presentar el primer documento sobre confiabilidad. (Montmeat, Gaver & Patton, 1964)

En dicho documento se detallan y analizan los grupos de fallas para los elementos paralelos de la red de transmisión, asociándolos a fallas por factores climáticos, y se conjuntan con algunas técnicas básicas de análisis. Una contribución ha sido la introducción de procedimientos de cálculo de frecuencia de fallas (*aproximaciones de valores de falla*) y promedios de duración de salidas en adición a la probabilidad de fallas. Esos índices dan una evaluación práctica de la confiabilidad en la red de transmisión de potencia.

En 1970 (Ringlee & Goode, 1970; Allan, Dialynas & Homer, 1979) se hizo un estudio que plantea un procedimiento para hacer evaluaciones en sistemas de transmisión y analiza los “Pasos para realizar análisis de evaluación de confiabilidad en subestaciones y circuitos de transmisión”, y que se detallan a continuación:

- *Paso 1: Descripción física del sistema*: Se especifican los componentes y valores de circuitos, impedancias y conexiones entre ellos. Se deben dar valores estadísticos de salidas y por mantenimiento. Así mismo, tiempos de mantenimiento, promedios de

duración y especificar cargas a suplir como centros de carga importantes.

- *Paso 2: Criterio de Funcionamiento:* Este criterio puede incluir componentes de sobrecarga, tales como frecuencia y límites de voltajes de barra que van de la mano con la continuidad del servicio de los otros circuitos y sobre todo será exitoso junto con el sistema de operación.
- *Paso 3: Objetivo de Confiabilidad:* Establece un nivel de satisfacción con el funcionamiento del sistema eléctrico. Será positivo si los eventos son cuantificados en términos de contingencia, conociendo el criterio de funcionamiento en forma acertada.
- *Paso 4: Análisis de efectos y fallas:* se refiere al todo el análisis secuencial y cronológico de eventos de falla y contingencias investigados y analizados. En este paso se especifican las condiciones de la carga y el estado de los componentes mantenidos y se investigan dichos eventos, además se revisan para obtener conclusiones de importancia.
- *Paso 5: Resumen de los efectos de falla y conclusiones:* Se deberá preparar una lista de eventos de falla donde se obtengan los límites permisibles, a fin de analizar con análisis probabilísticos.

En 1974 (Grover & Billinton, 1974) se establece un procedimiento de análisis evaluando subestaciones y patios de interruptores. Se realiza una comparación cuantitativa de las diferentes configuraciones y en este punto se introduce el concepto de fallas pasivas y activas contenidas en los elementos de protección. Por lo tanto, se clasifican las fallas a fin de tener una mayor evaluación y discriminación de las causas; por ello se obtienen los siguientes valores de falla:

- *Valor de falla pasiva:* Representa el número total de tiempos en un año, donde los componentes son sustituidos por reparaciones o algún tipo de mantenimiento.
- *Valor de falla activa:* Representa una fracción de los valores de falla pasiva, se expresa en términos de componentes activos fallados por año.

En 1975 Billinton y Grover (Billinton & Grover, Quantitative evaluation of permanent outages in distribution systems, 1975) realizan un análisis para sistemas serie y sistemas paralelo, incluyendo factores climáticos adversos, mantenimientos permanentes y salidas por sobrecarga de los sistemas, de forma similar al documento de 1964 desarrollado por Montmeat, Gaver y Patton. Esta es una ampliación de los índices que arrojó resultados de gran importancia para los diseñadores.

En 1976 (IEEE Committe Report, 1976) en esta época se tenía muy claro la relevancia de la confiabilidad y cuan importante era su impacto medida a partir de las salidas forzadas del sistema. Se puede calcular y evaluar a partir de datos con sistemas sobrecargados, pues se busca maximizar la capacidad de un sistema de potencia sin desmejorar por su puesto su confiabilidad. Este concepto de fallas activas y pasivas se sigue desarrollando en 1977, no obstante se amplía su rango de análisis hacia sistemas auxiliares de subestaciones y se enfoca principalmente hacia para el diseño de los mismos. En esta técnica se permite calcular o dar una evaluación de los costos de la confiabilidad y se convierte en una herramienta importante a fin de realizar un análisis económico de las inversiones.

Para mediados de los años 80 (Lauby, y otros, 1984) se hace un análisis de las causas y se analiza la importancia de mantener un buen inventario de eventos y de clasificarlos debidamente, de modo que sean fáciles de analizar. En este caso, se hace un “mapeo” de los eventos de la red y se propone un procedimiento para realizar análisis de índices. En el mapeo se deberán incluir: las *Características físicas de las líneas de transmisión y sus eventos asociados*.

Es de gran importancia llevar un buen inventario de los eventos y sobre todo su adecuada clasificación; así mismo, es vital el análisis de los índices de confiabilidad, ya que proporciona gran cantidad de información para la buena toma de decisiones. Por supuesto, la confiabilidad tiene un costo asociado y cuanto más confiable sea un sistema, más alto será su costo.

Datos requeridos para la evaluación de la confiabilidad de un sistema de potencia (Forrest, y otros, 1985)

Datos eléctricos: incluyen el inventario del equipo de transmisión involucrado, tal como los dispositivos de compensación para potencia reactiva (VAR) que se tengan instalados, compensadores síncronos, compensadores estáticos, bancos de reactores en paralelo, bancos de capacitores en paralelo, bancos de capacitores serie, clasificados por nivel de tensión, por km de línea, por componente y subcomponente e importancia. También datos de la carga del sistema eléctrico como: demandas mínimas, media, máxima, en cada bus o punto de carga y la capacidad de flujo de potencia de cada línea de transmisión.

Datos de generación: Tales como capacidad instalada, generación normal y margen de reserva de potencia reactiva.

Datos de confiabilidad del equipo involucrado: Clasificación de las fallas y salidas, número de fallas y salidas, número de fallas y salidas por año, tiempo promedio de reparación de las fallas y salidas, tipos de fallas, tiempo total de salida (horas), duración de salida media (horas) e indisponibilidad (%).

Datos ambientales del sitio donde opera el equipo involucrado: Nivel isocerámico en toda las zonas por donde pasan las líneas de transmisión, temperatura, presión de viento, precipitación pluvial, tormentas, fenómenos naturales (fenómenos “El Niño”, “La Niña”), desastres. El buen uso de los índices de confiabilidad podrá dar valores importantes tanto para la operación y mantenimiento del sistema como para el planeamiento de este.

Las técnicas de evaluación de confiabilidad pueden clasificarse en *analíticas* y *de simulación*:

- *Las técnicas analíticas* (Forrest, y otros, 1985) (Mallard & Thomas, 1968) **representan al sistema por un modelo matemático y los índices de confiabilidad se evalúan usando soluciones matemáticas.**
- *La técnica de simulación* se basa en realizar experimentos de muestreo sobre el modelo del sistema y requieren generar y procesar gran cantidad de datos. Estos experimentos estadísticos simulados se llevan a cabo en una computadora por la gran cantidad de memoria requerida, por lo que su aplicación es sustituida por métodos analíticos.

Índices de confiabilidad para analizar en redes eléctricas de transmisión de potencia

De acuerdo a Billinton y Grover en sistemas de transmisión eléctrica de potencia (Billinton & Grover, 1975) se puede analizar la confiabilidad de sistemas de generación, transmisión y distribución combinados. De esta manera se puede planificar la expansión y desarrollo de los sistemas de potencia a partir de un análisis de los elementos a instalar. De esta manera, se analizan escenarios para sistemas serie y sistemas paralelo, así como modelos con sistemas con sobrecarga, estado de mantenimiento, condiciones de falla y todos aquellos que sean relevantes en el planeamiento.

Para analizar los dos primeros sistemas, se deben tener en cuenta todos los datos necesarios a fin de realizar evaluaciones lo más realistas posibles. En ellas se requiere datos de tasas de salidas estacionales (verano e invierno) y por mantenimiento, en condiciones de falla, condiciones especiales, entre otros. De esta manera se calcularán los siguientes valores:

$$\lambda_{i1} = \frac{C_1}{Y_1};$$

$$\lambda_{i2} = \frac{C_2}{Y_2};$$

$$\lambda_{i3} = \frac{C_3}{Y_3}$$

donde

C_1 : número de componentes fallados en tiempo de verano

Y_1 : sumatoria de los tiempos por cada kilómetro de línea o parte del sistema

C_2 : número de componentes fallados en tiempo de invierno

Y_2 : sumatoria de los tiempos por cada kilómetro de línea o parte del sistema

C_3 : número de componentes mantenidos durante un período observado

Y_3 : sumatoria de los tiempos por cada kilómetro de línea o parte del sistema (sujetos a mantenimiento).

Para el tiempo de verano se puede considerar desde enero hasta agosto (a pesar de que puede variar). Para el tiempo de invierno se puede tomar desde septiembre hasta diciembre. Todos los datos anteriores deberán obtenerse a partir de historiales de salidas y mantenimientos.

Suposiciones para el cálculo de confiabilidad

- Los tiempos de falla (períodos en medio de fallas) y reparaciones son distribuidos exponencialmente, ya sea durante los tiempos de verano o invierno.
- Probabilidad (*tiempo de falla (durante tiempo de verano) > t*) = $e^{-\lambda t}$
- Probabilidad (*tiempo de falla (durante tiempo de invierno) > t*) = $e^{-\lambda t}$
- Las duraciones en tiempo de invierno y verano se distribuyen exponencialmente.
- El mantenimiento se efectúa en forma normal, a no ser de que se vea afectado por sobrecargas en el sistema y que el mantenimiento no se pueda completar antes de lo programado.
- Los tiempos de mantenimiento serán distribuidos exponencialmente.

Sistemas serie

Parámetros requeridos:

$$\lambda_{i1} = \lambda_{i2} = \lambda_{i3} = \lambda_n$$

$r_{i1} = r_{i2} = r_{i3} = r_n$: tasa de tiempo de reparación para las salidas forzadas (invierno y verano) y tiempo de mantenimiento por año, respectivamente.

N: valor de duración del tiempo de verano en años

S: valor de duración del tiempo de invierno en años.

Los valores de salidas forzadas por mantenimiento correctivo (tiempo de verano e invierno) para i componentes (salidas forzadas/año) son:

$$\lambda_{fi} = \frac{N}{N+S} \lambda_{i1} + \frac{N}{N+S} \lambda_{i2}$$

$N\lambda_1$ y $S\lambda_2$ son muy pequeños comparados con la unidad, por lo que el total de salidas es:

$$\lambda_{fe} \approx \sum_{i=1}^n \lambda_{fi}$$

Las salidas forzadas por mantenimiento (salidas por mantenimiento/año) son:

$$\lambda_{e3} \approx \sum_{i=1}^n \lambda_{i3}$$

De forma similar, la tasa de fallas en verano e invierno (fallas/año):

$$\lambda_{e1} \approx \sum_{i=1}^n \lambda_{i1}$$

y

$$\lambda_{e2} \approx \sum_{i=1}^n \lambda_{i2}$$

Valores esperados por resultado de salidas forzadas en tiempo de verano e invierno y por mantenimiento (años):

$$r_{fe} \approx \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{fi} r_i}{\lambda_{fe}}$$

y

$$r_{e3} \approx \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{i3} r_{i3}}{\lambda_{e3}}$$

Valores de tasas de salidas anuales (salidas totales/año):

$$\lambda_{SL} = \lambda_{fe} + \lambda_{e3}$$

Valor esperado de duración por salida (años):

$$r_{SL} = \frac{\lambda_{fe} r_{fe} + \lambda_{e3} r_{e3}}{\lambda_{SL}}$$

Promedio total de salidas por año (salidas/año):

$$U_{SL} \approx \lambda_{SL} r_{SL}$$

Probabilidad de que una simple salida dure más de t horas:

$$P_{(salida > t \text{ horas})} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{fi} e^{\frac{-t}{8760r_{i1}}} + \lambda_{i3} e^{\frac{-t}{8760r_{i3}}}}{\lambda_{SL}}$$

Sistemas paralelos

De manera similar al método de análisis de sistemas serie, los sistemas paralelos se pueden analizar tanto en componentes como en líneas de transmisión, por lo que se debe hacer el análisis y aplicar las siguientes expresiones simplificadas para el estudio de dichos sistemas:

Parámetros requeridos:

$$\lambda_{j1} = \lambda_{j2} = \lambda_{j3} = \lambda_n$$

$\mathbf{r}_{j1} = \mathbf{r}_{j2} = \mathbf{r}_{j3} = \mathbf{r}_n$: tasa de tiempo de reparación para las salidas forzadas (invierno y verano) y de tiempo de mantenimiento por año, respectivamente.

N: valor de duración del tiempo de verano en años

S: valor de duración del tiempo de invierno en años.

Para los cálculos de las diversas tasas se aplica la metodología anterior, solo se deben adecuar las variables a analizar. Para calcular el total de salidas forzadas por año en caso de que el sistema paralelo contenga una parte en serie (salidas/año):

$$\lambda_{SL} \approx \frac{N}{N+S} \left[\lambda_{i1} \lambda_{j1} (r_{i1} + r_{j1}) + \frac{S}{N} (\lambda_{i2} \lambda_{j1} r_{i1} + \lambda_{j2} \lambda_{i1} r_{j1}) \right. \\ \left. + \frac{S}{N} (\lambda_{i1} \lambda_{j2} r_{i1} + \lambda_{j1} \lambda_{i2} r_{j1}) + \frac{2S^2}{N} \lambda_{i2} \lambda_{j2} \right] + \lambda_{i3} \lambda_{j1} r_{i3} + \lambda_{i1} \lambda_{j3} r_{j3}$$

Por último, para el cálculo de salidas forzadas, en este caso en tiempo de verano, se calcula de la siguiente manera, no obstante, se puede adecuar igualmente a las variables disponibles (fallas en tiempo de verano/año):

$$\lambda_e \approx \lambda_{i1} \lambda_{j1} (r_{i1} + r_{j1}) + \frac{S}{N} (\lambda_{i1} \lambda_{j1} r_{i1} + \lambda_{j2} \lambda_{i1} r_{j2})$$

Análisis por Cadenas de Markov

Posteriormente, para el año 1968 (Billinton & Bollinger, 1968) se introduce otro método de cálculo, que son los procesos de Markov, en los que se consideran las fallas asociadas a factores climáticos en configuraciones paralelas y se comparan con los resultados del documento anteriormente descrito. Se deben tomar en cuenta diversos escenarios durante el año, tal y como se detalla en la figura 1.

El procedimiento de cálculo para un caso simple es el siguiente:

- Se tienen las siguientes variables:
 - λ_1, m_1 : fallas en tiempo de verano y valores de reparación
 - λ_2, m_2 : fallas en tiempo de invierno y valores de reparación
 - $m = 1/s$, donde s es el valor de tiempo en invierno
 - $n = 1/n$, donde n es el valor de tiempo de verano

- Se plantea la siguiente matriz:

$$\begin{matrix}
 P_0'(t) \\
 P_1'(t) \\
 P_2'(t) \\
 P_3'(t)
 \end{matrix}
 = \begin{bmatrix}
 P_0(t) & P_1(t) & P_2(t) & P_3(t)
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 -(1+n) & n & 1 & 0 \\
 m & -(2+m) & 0 & 2 \\
 1 & 0 & -(1+n) & n \\
 0 & 2 & m & -(2+n)
 \end{bmatrix}$$

El modelo de Markov se aplica en procesos que son discretos en el espacio y continuos en el tiempo.

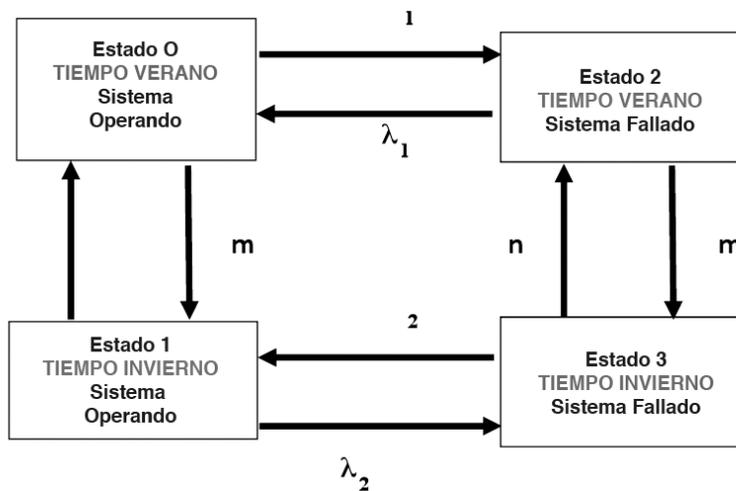


Figura 1. Diagrama espacial para un caso simple con dos estados de medio fluctuante

Ejemplo de aplicación a sistema eléctrico de potencia

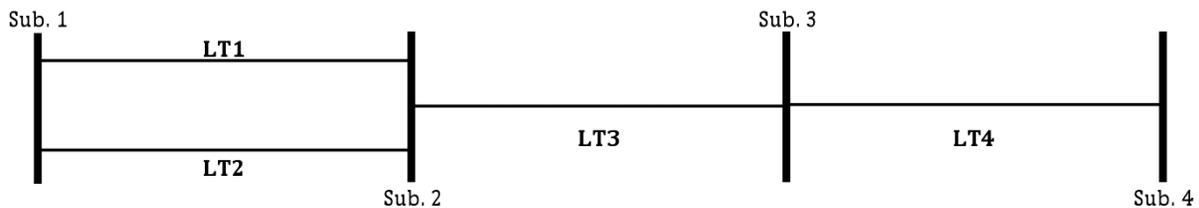


Figura 2. Circuito básico de sistema eléctrico de potencia

Se tendrán las siguientes líneas de transmisión: LT1, LT2, LT3 y LT4. Las líneas LT1 y LT2 están en configuración paralela y estas a su vez en serie con LT3 y LT4.

Datos genéricos para cada línea de transporte

Aplicando el análisis del punto 3, se analizaron los siguientes datos recolectados en un año de operación:

Cuadro 1. Tasas de salidas de líneas de transmisión de la figura 2.

Tasas de salidas		LT1	LT2	LT3	LT4
Verano	λ_1	0.5	0.277	0.2857	0.5882
Invierno	λ_2	0.11	0.111	0.3571	0.3530
Mantenimiento	λ_3	0.66	0.611	0.2143	0.3530

Índices obtenidos en sistema serie

Salidas por mantenimiento correctivo por línea de transmisión:

$$\lambda_{fiLT1} = 0,37037 \text{ salidas/año}$$

$$\lambda_{fiLT3} = 0,30952 \text{ salidas/año}$$

$$\lambda_{fiLT4} = 0,50980 \text{ salidas/año}$$

Total de salidas forzadas:

$$\lambda_{fe} = 1,18970 \text{ salidas/año}$$

Combinando todas las líneas de transmisión y analizados en diversos periodos del año:

$$\lambda_{e1} = 1,3739 \text{ salidas/año tiempo de verano}$$

$$\lambda_{e2} = 0,8212 \text{ salidas/año tiempo de invierno}$$

$$\lambda_{e3} = 1,2338 \text{ salidas/año mantenimiento}$$

Para los diferentes periodos se obtiene:

$$\lambda_{SLv} = 2,4235 \text{ salidas/año verano}$$

$$\lambda_{SLi} = 0,00025 \text{ salidas/año invierno}$$

$$r_1 = 58,26 \text{ horas tiempo de verano}$$

$$r_2 = 1,58 \text{ horas tiempo de invierno}$$

$$r_3 = 21,40 \text{ horas mantenimiento}$$

$$r_{fe} = 59,84 \text{ horas total}$$

Finalmente

$$U_{SL} = 97,66 \text{ horas/año}$$

$$r_{SL} = 66,53 \text{ horas}$$

Índices obtenidos en sistema paralelo

$$\lambda_{SL} = 1,01063 \text{ salidas/año}$$

$$\lambda_{e1} = 0,00134 \text{ salidas/año tiempo de verano}$$

$$\lambda_{e2} = 0,09880 \text{ salidas/año tiempo de invierno}$$

$$r_{fe} = 5,24 \text{ horas salidas por mantenimiento y forzadas.}$$

Análisis de índices calculados

Al analizar los índices del sistema paralelo, se observa que una de las dos líneas presenta al menos una salida por año con una duración de 5 horas aproximadamente durante todo el periodo. Esto se debe no solo al mantenimiento preventivo sino al mantenimiento correctivo.

En el sistema serie se tienen las líneas de LT1–LT3–LT4 y se observa que por mantenimiento correctivo hay un total de 1,18 salidas por año de alguna de las tres líneas involucradas en el sistema, dado que en verano hay 1,37 salidas, 0,8212 para invierno y 1,23 salidas por mantenimiento preventivo. De esto se deduce que hay un total de 2,42 salidas al año, por mantenimiento preventivo y correctivo con una duración esperada de 66 horas. Así mismo, se espera un promedio de 97,66 horas por año en que este sistema se encuentre fuera de servicio.

Conclusiones

Los índices de confiabilidad son una herramienta importante en el análisis de eventos y situaciones propias de los sistemas eléctricos de potencia. Hoy día, cuando la calidad de la energía eléctrica tiene un peso importante, debe ser analizada. Es necesario cuantificar los índices de confiabilidad para tomar decisiones acertadas y sobre todo cuando se toman en cuenta con el fin de evaluar la gestión de operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos. Los índices de confiabilidad pueden aplicarse a todos los elementos de los sistemas eléctricos de potencia, pues pueden llegar a ser críticos según sea su configuración.

Para finalizar, es necesario cuantificar en términos económicos la influencia de los índices de confiabilidad en la tareas diarias y estos, a la postre, podrán llegar a influir en la cantidad de intervenciones o mantenimientos que se pueden realizar a un sistema o equipo, a fin de no incurrir en gastos innecesarios.

Bibliografía

- Allan, R. N., Dialynas, E. N., & Homer, I. R. (1979). Modelling and evaluating the reliability of distributions systems. (IEEE, Ed.) *Trans. Power Apparatus Syst.*, 96(6), 2181-2189.
- Billinton, R., & Bollinger, K. E. (Feb. de 1968). Transmisión System Reliability evaluation using Markov Processes. (IEEE, Ed.) *Transactions Power Apparatus Syst.*, 87(2), 538-547.
- Billinton, R., & Grover, M. S. (1975). Quantitative evaluation of permanent outages in distribution systems. *Trans. Power Apparatus Syst.*, 94(3), 733-741.
- Endrenyi, J. (1971). Tree stage models in power system reliability evaluations. *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, 1909-1916.
- Forrest, D. W., Albrecht, P. F., Allan, R. N., Bhavaraju, M. P., Billinton, R., Landgren, G. L., y otros. (Feb. de 1985). Proposed terms for reporting and analyzing outages of electrical transmission and distribution facilities. (IEEE, Ed.) *Trans. Power Apparatus Syst.*, 104(2), 337-348.
- Grover, M. S., & Billinton, R. (September de 1974). A computerized approach to substation and switching station reliability evaluation. *Trans. Power Apparatus Syst.*, 93(5), 1488-1497.
- IEEE Committe Report. (1976). Common mode forced outages of overhead transmission lines. *Trans. Power Apparatus Syst.*, 859-864.
- Lauby, M. G., Khu, K. T., Polesky, R. W., Vandello, R. E., Doudna, J. H., Lehman, P. J., y otros. (1984). MAPP bulk transmission outage data collection and analysis. *IEEE Trans Power Apparatus Syst.*, 213-221.
- Mallard, S. A., & Thomas, V. C. (Marzo de 1968). A method for transmission and distribution outage calculations. (IEEE, Ed.) *Trans. Power Apparatus Syst.*, 87(3), 824-834.
- Montmeat, F. E., Gaver, D. P., & Patton, A. D. (July de 1964). Power System Reliability and Methods of calculation. (IEEE, Ed.) *Transactions Power Apparatus*, 83, 727-737.
- Ringlee, R. J., & Goode, S. D. (April de 1970). On procedures for reliability evaluation of transmission systemns. *Trans. Power Apparatus Syst.*, 89(4), 527-537.

Technical and economic feasibility of adding pure oxygen for rotifer production (*Brachionus plicatilis*) spotted snapper (*Lutjanus guttatus*) larvae feeding

Factibilidad Técnica y económica de dos sistemas de producción intensiva de rotíferos (*Brachionus plicatilis*) para la alimentación de larvas de pargo manchado (*Lutjanus guttatus*)

María del Milagro Carvajal-Oses¹, Rooel Campos-Rodríguez², Ángel Herrera-Ulloa³

Fecha de recepción: 15 de junio del 2015

Fecha de aprobación: 13 de octubre del 2015

Carvajal-Oses, M.; Campos-Rodríguez, R.; Herrera-Ullo, A. Technical and economic feasibility of adding pure oxygen for rotifer production (*Brachionus plicatilis*) spotted snapper (*Lutjanus guttatus*) larvae feeding. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 14-24.

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Parque Marino del Pacífico. milag.carvajal@gmail.com

2 Tecnológico de Costa Rica. rocampos@tec.ac.cr

3 Universidad Nacional de Costa Rica. angel.herrera.ulloa@una.cr

Keywords

Brachionus plicatilis; *Lutjanus guttatus*; growth; fertility; yield; rotifers; marine culture.

Abstract

A study to technically and economically evaluate the addition of pure oxygen in a culture of rotifers for feeding marine fish in the Pacific Marine Park, Puntarenas, Costa Rica was performed. The results showed no significant differences (ANOVA $P > 0.05$) between the cultivation with addition of oxygen treatment and control, regarding the instantaneous growth rate, crop yield, doubling time, rotifers length and maximum densities reached. Concerning the economic analysis, control culture was 53% less expensive compared to the addition of oxygen system.

Palabras clave

Brachionus plicatilis, *Lutjanus guttatus*, crecimiento, fecundidad, rendimiento, rotíferos.

Resumen

Se realizó un estudio de factibilidad técnica y económica sobre la adición de oxígeno en la producción intensiva de rotíferos para alimentar peces marinos en el Parque Marino de Puntarenas Costa Rica. Los resultados mostraron que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) en cuanto a la tasa instantánea de crecimiento, rendimiento del cultivo, tiempo de duplicación, longitud de los rotíferos y máximas densidades alcanzadas. Con respecto al análisis económico el sistema sin oxígeno es 53% menos costoso que el sistema con adición de oxígeno.

Introduction

The larvae of *Lutjanus guttatus* as well as many marine fish are characterized by their small size, which makes them vulnerable to both rearing conditions and the quality and quantity of live food to be provided at the hatchery (Aristizábal and Suárez, 2006); this is why the first feeding is considered the bottleneck of the fish farming industry (Dhert *et al.*, 2001). The rotifer *Brachionus* sp. has been listed as one of the most important fish farming food resources (Suantika *et al.*, 2001), by size (Hagiwara *et al.*, 2007), swimming speed and his ability to remain suspended in the water column (Fielder *et al.*, 2000), so it is necessary to establish a massive stable supply enabling mass production of these larvae for consumption in the laboratory (Dhert *et al.*, 2001).

This has encouraged to research on the conditions that optimize the growth of populations of this organism (Kostopoulou *et al.*, 2006; Sayegh *et al.*, 2007; Papakostas *et al.*, 2007; Kobayashi *et al.*, 2008; Larsen *et al.*, 2008; Yin and Zhao, 2008; Cavalin and Weirich, 2009; Mahmoudzadeh *et al.*, 2009; Qi *et al.*, 2009), specifically, may studies related to the addition of pure oxygen as support for rotifer cultures (Yoshimura *et al.*, 1996; Dhert *et al.*, 2001; Yoshimura *et al.*, 2003), however, is necessary to evaluate the economic conditions as well as staff availability and infrastructure before deciding the technique with which to work, as noted by Suantika *et al.* (2003) in their study on rotifers production progress.

The aim of this study was to optimize the production of rotifers *Brachionus plicatilis* according to economic and technical conditions developed at the Pacific Marine Park and improve his technology on marine-culture in Costa Rica.

Materials and methods

An own strain of *Brachionus plicatilis* from the Pacific Marine Park stock was used, which is located in the city of Puntarenas (9,97° N 84,82°W), Costa Rica at an altitude of 0 meters above the sea level. The experiment consisted of three replicates both to evaluate the population growth curve in the system with addition of pure oxygen and the control treatment (no addition of pure oxygen). The first test, ha both oxygen added as 99% and oxygen by an electric aeration blower driven, control culture only had air pushed by the blower. To conduct the experiment transparent fiberglass tanks of 500 liters in volume were used, located under covered roof of transparent polycarbonate sheets with an entry of light during day hours (5000 lux). Cultures were initiated with a density of 200 rotifer . ml⁻¹.

Water quality

To maintain the quality of seawater, ultraviolet rays were irradiated filtered to 1 µm. To collect flocs of organic matter, suspended absorbent fabrics were installed in tanks of 2 x 0.2 m and a skimmer was installed to collect organic remains. The bottom of the tanks were cleared to maintain the cleanliness of the crop and finally 0.75 g . day of probiotic Epicin pond were added to the tanks (Bionetworks Epicor Inc., Eastampton, NJ 08060).

Feeding

The daily maintenance diet was based on dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and addition of micro-algae *Nannochloropsis oculata* achieving the recommended density in the tank by Dhert et al. (2001) with 200,000 cells . ml⁻¹. Regarding the amount of yeast used, the amount was based on the formula of Suantika *et al.* (2000), which corresponds to:

$$CHS = 0,035D^{0,415} V$$

where:

CHS = weight of food (g)

D = density of rotifers ml⁻¹

V = volume (l)

The way to deliver yeast to rotifers was based on Benetti *et al.*, (2008), which consists on preparing them in coolers of 20 liters each with constant aeration, decreasing the temperature with ice down to 10°C, adding 1.25 g of probiotic Epicin ponds and finally deliver this to rotifers by continuous drip for 24 hours using a peristaltic pump of Chem Feed ® brand (Blue-White Industries, Huntington Beach, California 92649).

Physicochemical parameters

The oxygen dewar was regulated to keep on the rotifer cultures an oscillating oxygen interval between 5 and 6 mg . l⁻¹. The temperature and dissolved oxygen (DO) was registered three times a day with a YSI oxygen meter model 550A. Cultures were maintained in a salinity range between 20 and 22 ppt. In addition the pH and the concentration of ammonia (NH₃ / NH₄⁺) were recorded daily using a colorimetric test Aquarium Pharmaceuticals (Fishcare North America, Inc. Hamilton, California, PA 18914).

Population parameters

Density (ind . ml⁻¹) and fecundity (eggs . rot⁻¹) of *Brachionus plicatilis*, was calculated base on ten counts daily (1 ml aliquots) of live rotifers using a stereoscope "Optimum model ZM-160 AT". Also when the cultures showed their highest population density values calculation of the

instantaneous growth rate (day^{-1}), doubling time (day^{-1}) and crop yield ($\text{rot} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$) were performed, which are given by the following formulas:

Instantaneous growth rate (Suantika *et al.*, 2003):

$$K = \frac{\ln N_f - \ln N_o}{t}$$

Doubling time (Vallejo *et al.*, 1993):

$$td = \frac{\ln 2}{K}$$

Crop yield (Vallejo *et al.*, 1993):

$$r = \frac{N_f - N_o}{t}$$

where:

N_f = final number of ind $\cdot \text{ml}^{-1}$

N_o = initial number of ind $\cdot \text{ml}^{-1}$

t = time in days.

Length and lorica width (microns)

Five daily rotifers were taken randomly from each tank to measure with the microscope (H-903 model Optima) both the length and lorica width (body wall). Immobilization was obtained by using lugol reagent.

Economic Analysis

Concerning economic analysis, the items of consumption that comprise production costs for 2,000 million rotifers (oxygen treatment and control) were defined, these were: power consumption, oxygen, algae, yeast, probiotic and labor. As a final activity, the percentage of total feed costs for a pond of 4 tons was calculated; based on the methodology of Boza *et al.*, 2008 which used a spawning of 50,000 and getting at day 67 after hatching a survival of 1.5% of *Lutjanus guttatus* larvae which implies: the use of rotifers, *Artemia* cysts, algae and Otohime as formulated feed (Reed Mariculture, Inc. Hamilton Ave, Suite 100 Campbell, CA 95008).

Statistical Analysis

For statistical analysis of each result, the normal distribution of the data was initially verified (Shapiro-Wilks test) as well as determination of the homogeneity of variance (Levene test), followed by an analysis of variance (ANOVA) using the software Infostat.

Results

Physico-chemical conditions

It was observed that in oxygen system, the DO was maintained at an average range from 6.47 ± 0.37 and $4.62 \pm 0.68 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ throughout the culture time, while in the control treatment values declined 5.52 ± 0.88 to $0.99 \pm 0.52 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ at the last day of culture, showing significant differences from the second day (ANOVA $P < 0.05$) between treatments. The pH was stable in both cultures

without significant variations (ANOVA $P > 0.05$) throughout the investigation, with values between 7.46 ± 0.10 and $7.5 \pm 0.20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. The $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ showed an increase without significant changes between the two systems (ANOVA $P > 0.05$), reaching values up to $8 \pm 0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ on the last day of treatment with a temperature fluctuation between 29.50 ± 0.20 and $26.58 \pm 0.63^\circ\text{C}$ showing no significant variation (ANOVA $P > 0.05$).

Population parameters

As for the maximum reported densities of rot. Ind^{-1} , there were no significant differences (ANOVA $P > 0.05$) with the oxygen system treatment having $750 \pm 60 \text{ rot} \cdot \text{ind}^{-1}$ and control $825 \pm 33 \text{ rot} \cdot \text{ind}^{-1}$. The culture declined to provide oxygen from seventh day treatment and control from the third day (Fig. 1), with significance shown for the duration of the culture (ANOVA $P < 0.05$). In general a total of 55×10^7 rotifers were obtained in both systems.

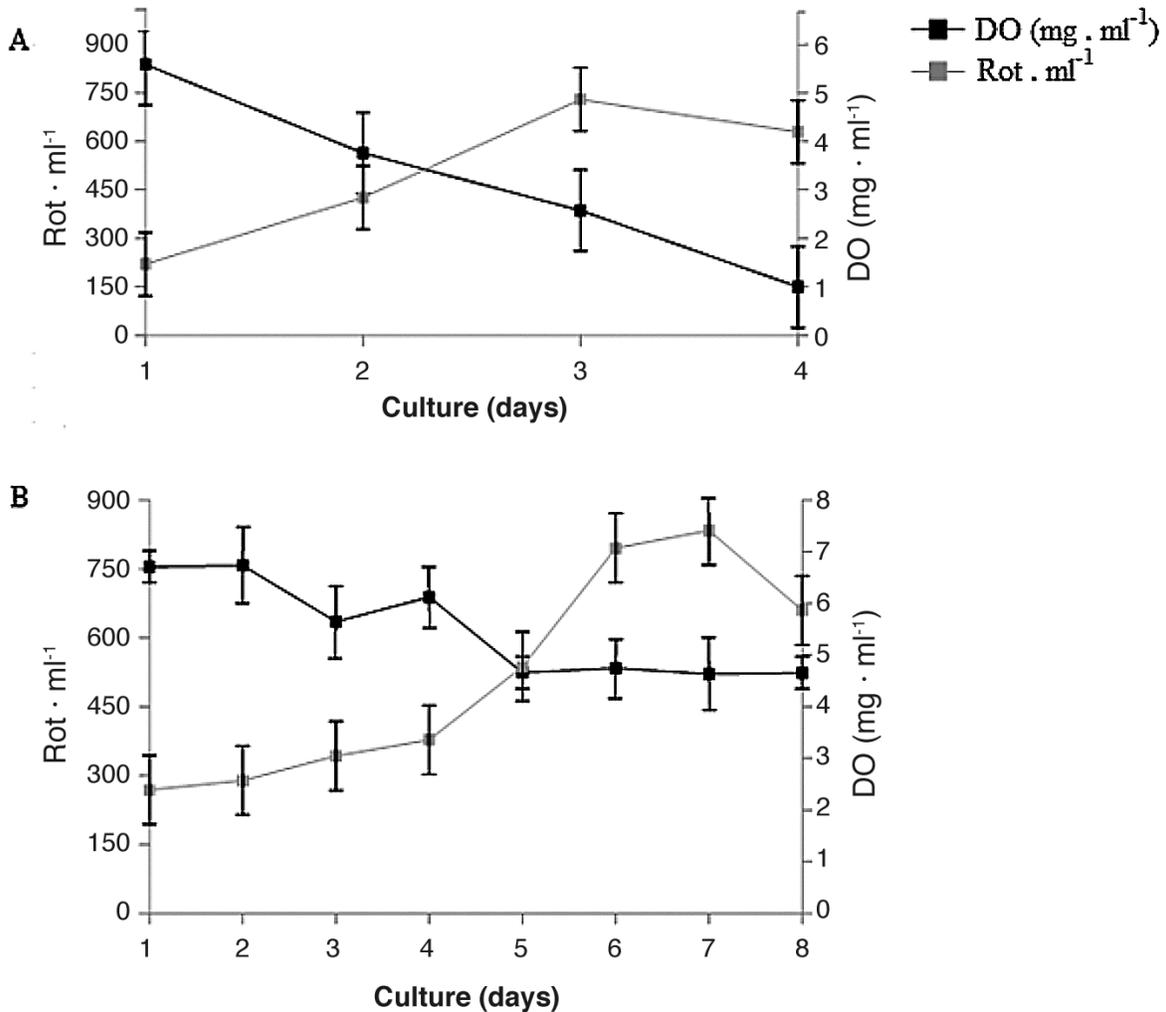


Figure 1. Density of rot. ml^{-1} and DO ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) in the control culture (A) and with addition of oxygen (B).

The instantaneous growth rate, doubling time and crop yield did not differ significantly between treatments (Table 1) (ANOVA $P > 0.05$).

Table 1. ANOVA of instantaneous growth rate (day^{-1}), doubling time (day^{-1}) and population performance ($\text{rot} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$) (mean values \pm standard deviation) in both rotifer production systems.

Variable	Treatment		P
	Oxygen	Without oxygen	
Instantaneous growth rate.	0,212 \pm 0,04	0,35 \pm 0,08	0,056
Doubling time	3,35 \pm 0,73	2,011 \pm 0,43	0,053
Culture yield	98.140 \pm 25,96	167.850 \pm 36,85	0,055

The fecundity (F) obtained from day 1 to 4 in both cultures showed statistical differences (ANOVA $P < 0.05$), reporting for the control system the highest average for day two, and in the culture with oxygen the highest average were obtained for the remaining three days. All F exceeded $0.15 \text{ rot} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$. The lowest fecundity were reported for the last days of the period of both cultures (Fig. 2).

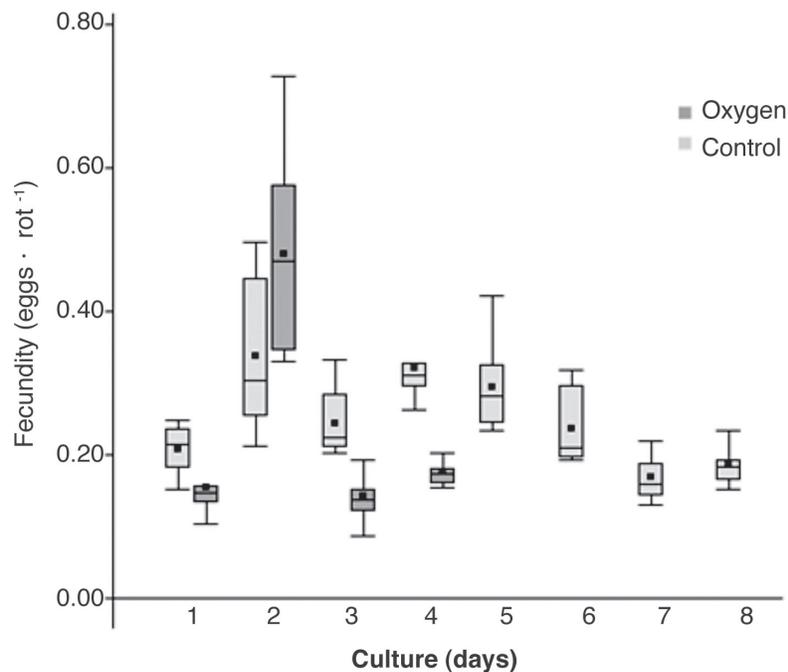


Figure 2. Fecundity (mean values \pm standard deviation) ($\text{eggs} \cdot \text{rot}^{-1}$) obtained in *Brachionus plicatilis* cultures with and without oxygen supply.

Length and width of lorica

There were no significant differences (ANOVA $p > 0.05$) between the means of morphometric characteristics of both rotifers systems; the oxygen system presented an average length of $150,02 \pm 11,92$ and a width of $114,10 \pm 11,92 \mu\text{m}$, while in the control treatment a length of $147,82 \pm 11,86$ and a width $111,3 \pm 11,18 \mu\text{m}$.

Economic Analysis

It is 53% less expensive to produce rotifers without oxygen supply in the Pacific Marine Park. The 47% of total costs in the system with oxygen was used to purchase oxygen while 57% of capital invested in the control treatment was assigned to labor. In addition, a million rotifers in the culture with addition of oxygen would cost approximately $\$1,06 \pm 0,17$ and in the system without oxygen addition $\$0,53 \pm 0,04$; there is statistically significant difference between the price of a million rotifers in both systems (ANOVA $P > 0.05$). Table 2 shows an idea of the total costs required to develop a batch system for a month using oxygen and without oxygen in the Pacific Marine Park.

Table 2. Breakdown of Costs (\$) used in the production of rotifers.

Same costs for both rotifer production systems			
Wage	Hour cost (\$)	Amount	Total (\$)
		(hours)	
Biologist	6,0	96,0	576,0
Assistant	3,5	16,0	56,2
Statutory benefits	Employer contribution (%)		Total (\$)
Social charges	36,5		230,7
Power Consumption	Cost KWh (\$)	Energy (KWh)	Total (\$)
	0,2		
Air conditioning		61,0	9,3
Algal incubator		332,0	50,5
Autoclave		172,0	26,2
Blower		158,0	24,0
Microscope		6,5	1,0
Peristaltic pumps		5,4	0,8
Pumps		8,4	2,5
Seawater pump		8,4	1,3
Semi analytical balance		8,0	1,4
Stereoscope		13,5	2,0
Ultraviolet lamps		202,0	30,7
TOTAL			149,6
Reagents	Cost per gram (\$)	Quantity (g)	Total (\$)
Ammonium chloride	0,1	54,0	5,4
EDTA	0,1	8,2	0,5
Ferric chloride	0,1	8,7	0,5
Iodine	0,1	10,0	0,8
Potassium iodide	0,6	154,0	24,0
Sodium nitrate	0,4	2,0	0,8
Sodium phosphate	0,1	15,0	1,0
Vitamins	0,0	30,0	0,3

Other specific costs for each system			
Oxygen System	Unit Cost (\$)	Amount	Total (\$)
Oxygen	500,0	2 dewar	1.000,0
Probiotic	1,0	23 pills	23,0
Yeast	3,8	13 packages	49,4
System without oxygen			
Probiotic	1,0	23 pills	23,0
Yeast	3,8	15 packages	57,0
TOTAL OXYGEN SYSTEM			2120,0
TOTAL SYSTEM WITHOUT OXYGEN			1125,8

It takes \$ 2 089 to feed a tank with larvae using oxygen fed produced rotifers (total cost: 70% corresponded to rotifers, 22% in microalgae, 6% for shrimp and 1.5% in otohime) and \$ 1 193 with rotifers from cultures without oxygen supply (49% rotifers, 38% microalgae 10% brine and 2.5% otohime). According to these costs, a spotted snapper larvae fed with rotifers from oxygen supplied systems would cost \$ 0.27 and a larva using the rotifer production control system would have an economic value of \$ 0.16.

Discussion

Although the oxygen supply system sustain concentrations within the recommended by Orhum and Benetti (2001), it always declined at the population level due to the high reported values of ammonium (Yoshimura *et al.*, 2003). The control treatment exemplified the two greatest constraints to the development of cultures exposed by Yoshimura *et al.* (2003) corresponding to the low concentration of DO ($> 1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) (fig.1) and high values of ionized ammonia, thus also its short duration of 4 ± 1 days. High concentrations of nitrogen compounds can be controlled with water exchange (Orhum and Benetti, 2001) or with water recirculation systems using biofilters and ozone (Bentley, 2008). The temperatures reported in this paper are considered common to the Gulf of Nicoya (Vega 2010), and are within the recommended Orhum and Benetti (2001), who suggest that temperatures in rotifer cultures must not exceed 30°C range since it affects the levels of DO and reproductive capacity of organisms. As for pH, eventhough these organisms can survive within wide ranges (Yin and Niu, 2008), Fielder *et al.*, (2000) recommends a range between 7.4 and 8.2, which agrees with the values obtained in this work.

Regarding the highest population densities obtained on both systems ($> 600 \text{ rot} \cdot \text{ml}^{-1}$), these are considered common for tanks from 500 to 1000 L in batch rotifer production centers (Dhert *et al.*, 2001). In terms of population parameters (Table 1), both growth rates are considered typical within the stated range for *B. plicatilis* in batch cultures (Suantika *et al.*, 2003, Tinh *et al.*, 2006). The doubling times of both systems match the reported (2 to 3.3 day⁻¹) range by Vallejo *et al.*, (1993) in his study of *B. plicatilis*. Population yields of both crops are considered high compared to that reported by Abu-Rezq and James (2005) of $12.130 \pm 1,89 \text{ rot} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ and that of Cisneros (2011) ranging from $1.330 \pm 0,33$ a $13.580 \pm 0,02 \text{ rot} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$. The yields of rotifers improve the more HUFA's and proteins their feeds contain (Dhert *et al.*, 2001; Cisneros, 2011), adding to the success of using microalgae on such cultures (Suantika *et al.*, 2003, Aragão *et al.*, 2004, Benetti *et al.*, 2008, Ferreira *et al.*, 2008).

The fecundity obtained in this work are considered most suitable (< 0.2) to maintain stable crops (Orhum and Benetti, 2001), however these forms decreased with increasing days in culture due

to deterioration of the quality of water (Hagiwara et al., 2007). Regarding the size of the rotifer, this must be consistent with the mouth opening of the larvae which is being grown (Hagiwara et al., 2001). An amount of 50% of the lengths of the rotifers reported in this paper are on the size limit recommended by Boza et al., (2008), indicating that for the production of *Lutjanus guttatus* the zooplankton to be used must be than 150 microns in length. In addition, the sizes of rotifers of both systems coincide with the results obtained by Hagiwara (2001), the author reports that the size of the species *Brachionus sp.* are within a range of 90 and 340 µm. As there is no statistical differences between the morphometric characteristics in both crops it can be said that oxygen is not a variable that influences this aspect, the above is further supported by Hagiwara et al., (2007) where it is mentioned that the size of rotifers can be modified by sudden changes in temperature, salinity or with different food regime.

From an economic standpoint, the non-use of oxygen brings more economic benefits to Pacific Marine Park since to produce 2,000 million rotifers day⁻¹, and costs are 60% cheaper than with oxygen supply. The reported cost for a million of rotifers in this study was higher than those published by Bentley et al., (2008) (\$ 0.009) and Suantika et al., (2003) (\$ 0.048), however, it was lower than Alvarez-Lajonchere and Álvarez et al., (2013) at a cost of \$ 1.65 in batch cultures. Oxygen is used by many authors as a resource to support the stability of rotifer cultures (Kostopoulou et al., 2006; Sayegh et al., 2007; Papakostas et al., 2007; Kobayashi et al., 2008; Larsen et al. 2008; Yin and Zhao, 2008; Cavalin and Weirich, 2009; Mahmoudzadeh et al., 2009; Qi et al., 2009), however, in the Pacific Marine Park adding oxygen posed no technical difference (ANOVA p > 0.05) compared to control culture due to several factors; the first is related to the fact that dissolved oxygen was controlled only during the day (it was not mechanized and there were workers who labored night shift) which did not allow a good control of this variable. According to Alvarez-Lajonchere and Álvarez et al., (2013) results in rotifer cultures depend on the correct technology developed in the laboratory. Additionally, high temperatures (Yin and Zhao, 2008) and proper nutrition (Dhert et al., 2002; Cabrera, 2008; Cisneros, 2011; Rojo-Cebrero et al., 2012) allowed the control culture to achieve similar densities (ANOVA p > 0.05) that that of the oxygen added culture. In conclusion for the Pacific Marine Park is technically and economically more feasible the non-application of pure oxygen to rotifer cultures as long as it provides daily refills seawater to its support systems (Orhum and Benetti, 2001) to avoid early falls through ionized ammonia accumulation (Yoshimura et al., 2003).

Acknowledgements

The authors thank the Production Module Pacific Marine Park for the facilities provided to conduct this work.

References

- Abu-Rezq, T., & James, C. (2005). Application of probiotics in rotifer production systems for marine fish hatcheries. *Marine finfish Aquaculture*, 10 (3), 27-29.
- Alvarez-Lajonchere, L., & Sánchez-Téllez, J. (2013). Análisis financiero de una producción piloto del rotífero *Brachionus rotundiformis*, con una dieta artificial. *Rev. Invest. Mar.*, 33(2), 28-36.
- Aragão, C., Conceição, L., Dinis, M., & Fihn, H. (2004). Amino acid pools of rotifers and *Artemia* under different conditions: nutritional implications for fish larvae. *Aquaculture*, 234, 429-445.
- Aristizábal, E., & Suárez, J. (2006). Efficiency of co-feeding red porgy (*Pagrus pagrus* L.) larvae with live and compound diet. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 41(2), 203 - 208.
- Benetti, D., Sardenberg, B., Welch, A., Hoenig, R., Orhum, R., & Zink, I. (2008). Intensive larval husbandry and fingerling production of cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 281, 22-27.

- Bentley, C., Carrol, P., & Watanabe, W. (2008). Intensive rotifer production in a pilot scale continuous culture recirculating system using non viable microalgae and a ammonia neutralizer. *Journal of the World Aquaculture society*, 39 (5), 625-635.
- Boza, J., Calvo, E., Solís, N., & Komen, L. (2008). Desove inducido y crecimiento larval del pargo manchado, *Lutjanus guttatus*, en la estación de Biología Marina de Puntarenas, Costa Rica. *Ciencias Marinas*, 34 (2), 239-252.
- Cabrera, F. (2008). Tasa de crecimiento poblacional del rotífero *Brachionus rotundiformis* (Rotifera: Brachionidae) en un quimiostato de dos cámaras. *Revista de Biología Tropical*, 56 (3), 1149-1157.
- Cavalin, F., & Weirich, C. (2009). Larval performance of aquacultured Florida pompano (*Trachinotus carolinus*) fed rotifers (*Brachionus plicatilis*) enriched with selected commercial diets. *Aquaculture*, 292, 67-73.
- Cisneros, R. (2011). Rendimiento poblacional del rotífero nativo *Brachionus* sp. "Cayman" utilizando diferentes enriquecedores. *Ecología aplicada*, 10(2), 99-105.
- Dhert, P., Rombaut, G., Suantika, G., & Sorgeloos, P. (2001). Advancement of rotifer culture and manipulation techniques in Europe. *Aquaculture*, 200, 129-146.
- Ferreira, M., Fábregas, J., & Otero, A. (2008). Enriching rotifers with "premium" microalgae. *Isochrysis* aff. *Galbana* clone T-ISO. *Aquaculture*, 279, 126-130.
- Fielder, D., Purser, G., & Battlaglene, S. (2000). Effect of rapid changes in temperature and salinity on availability of the rotifers *Brachionus rotundiformis* and *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture*, 189, 85-99.
- Hagiwara, A., Gallardo W., Assavaaree, M., Kotani, T., & de Araujo, A. (2001). Live food production in Japan: recent progress and future aspects. *Aquaculture*, 200, 111-127.
- Hagiwara, A., Suga, K., Akazawa, A., & Sakakura, Y. (2007). Development of rotifer strains with useful traits for rearing fish larvae. *Aquaculture*, 268, 44-52.
- Kobayashi, T., Nagase, T., Hino, A., & Takeuchi, T. (2008). Effect of combination feeding of *Nannochloropsis* and freshwater *Chlorella* on the fatty acid composition of rotifer *Brachionus plicatilis* in a continuous culture. *Fisheries Science*, 74, 649-656.
- Kostopoulou, V., Miliou, H., Katis, G., & Verriopoulos, G. (2006). Changes in the population structure of the lineage 'Nevada' belonging to the *Brachionus plicatilis* species complex, batch-cultured under different feeding regimes. *Aquacult Int.*, 14, 451-466.
- Larsen, P., Madsen, C., & Ulrik, H. (2008). Effect of temperature and viscosity on swimming velocity of the copepod *Acartia tonsa*, brine shrimp *Artemia salina* and rotifer *Brachionus plicatilis*. *Aquatic Biology*, 4, 47-54.
- Mahmoudzadeh, H., Ahmadi, H., & Shamsaei, M. (2009). Comparison of rotifer *Brachionus plicatilis* as a choice of live feed dry feed in rearing *Coregonus lavaretus* fry. *Aquaculture Nutrition*, 15, 129-134.
- Orhum, M., & Benetti, D. (2001). Rotifer management in marine fish culture. *GAA ADV*, 4(3), 49-50.
- Papakostas, S., De Wolf, T., Triantafyllidis, A., Vasileiadou, K., Kanellis, D., Cecconi, P., Kappas, I., & Abatzopoulos, T. (2007). Follow-up of hatchery rotifer cultures with regard to their genetic identity. *Journal of Biological Research*, 7, 41-49.
- Qi, Z., Dierckens, K., Defoirdt, T., Sorgeloos, P., Boom, N., Bao, Z., & Bossier, P. (2009). Effects of feeding regime and probiotics on the diverting microbial communities in rotifer *Brachionus* culture. *Aquacult Int.*, 17, 303-315.
- Rojo-Cabrero, A., Román-Reyes, J., Rodríguez-Montes de Oca, G., Nieves-Soto, M., Piña-Valdez, P., & Medina-Jasso, M. (2012). Balance energético del rotífero *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff 1921, alimentado con cuatro especies de microalgas. *Universidad y Ciencia*, 28(3), 231-244.
- Sayegh, F., Radi, N., & Montagnes, D. (2007). Do strain differences in microalgae alter their relative quality as a food for the rotifer *Brachionus plicatilis*? *Aquaculture*, 273, 665-678.
- Suantika, G., Dhert, P., Murhudah, M., & Sorgeloos, P. (2000). High-density production of the rotifer *Brachionus plicatilis* in a recirculation system: consideration of water quality, zootechnical and nutritional aspects. *Aquacultural engineering*, 21 (3), 201-214.
- Suantika, G., Dhert, P., Rombaut, G., Vandenbergue, J., De Wolf, T., & Sorgeloos, P. (2001). The use of ozone in a high density recirculation system for rotifers. *Aquaculture*, 201, 35-49.
- Suantika, G., Dhert, P., Sweetman, E., O'Brien, E., & Sorgeloos, P. (2003). Technical and economical feasibility of a rotifer recirculation system. *Aquaculture*, 227, 173-189.

- Tinh, N., Phuoc, N., Dierckens, K., Sorgeloos, P., & Bossier, P. (2006). Gnotobiotically grown rotifer *Brachionus plicatilis* sensu strictu as a tool for evaluation of microbial functions and nutritional value of different food types. *Aquaculture*, 253, 421- 432.
- Vallejo, A., Newmark, F., & Criales, M. (1993). Efecto de la salinidad sobre el crecimiento poblacional y rendimiento del rotífero *Brachionus plicatilis* (cepa Ciénaga Grande de Santa Marta). *Boletín de Investigaciones marinas y Costeras*, 22, 112-121.
- Vega, L. (2010). Evaluación poblacional del stock explotable del complejo *Ophistonema* (pisces: Clupeidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.*, 2, 83-94.
- Yin, W., & Niu, J. (2008). Effect of pH on survival, reproduction, egg viability and growth rate of five closely related rotifer species. *Aquat. Ecol.*, 42, 607-616.
- Yin, W., & Zhao, W. (2008). Studies on life history characteristics of *Brachionus plicatilis* O. F. Müller (Rotifera) in relation to temperature, salinity and food algae. *Aquat. Ecol.*, 42, 165-176.
- Yoshimura, K., Hagiwara, A., Yoshimatsu, T., & Kitajima, C. (1996). Culture technology of marine rotifers and the implications of marine fish in Japan. *Mar. Fresh. Res.*, 47, 217-222.
- Yoshimura, K., Tanaka, K., & Yoshimatsu, T. (2003). A novel culture system for the ultra-high-density production of the rotifer, *Brachionus rotundiformis* a preliminary report. *Aquaculture*, 227, 165-172.

Elementos para el diseño de una estrategia que promueva la creación de *spin-offs* académicas en las universidades públicas costarricenses

Elements for designing a strategy to support the creation of academic *spin-offs* in Costa Rican public universities

Mauricio Monge-A¹, Antonio Juan Briones-Peñalver², Domingo García-Pérez de Lema³

Fecha de recepción: 10 de diciembre del 2015
Fecha de aprobación: 3 de abril del 2015

Monge-A, M; Briones-Peñalver, A; García-Pérez de Lema, D.
Elementos para el diseño de una estrategia que promueva la creación de *spin-offs* académicas en las universidades públicas costarricenses. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 25-42.

- 1 Profesor-Investigador, Escuela de Agronegocios, Catedrático del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: mmonge@itcr.ac.cr. Cartago, Costa Rica.
- 2 Profesor Colaborador del Departamento de Economía de Empresa, Universidad Politécnica de Cartagena. Correo electrónico: aj.briones@upct.es. Cartagena, España.
- 3 Departamento de Economía de Empresa, Director FAEDPYME, Universidad Politécnica de Cartagena. Correo electrónico domingo.garcia@upct.es. Cartagena, España.

Palabras clave

emprendedurismo académico; *spin-off* académico; factores determinantes.

Resumen

El presente artículo expone los resultados del comportamiento de los factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas en las universidades públicas de Costa Rica. Se utilizó la metodología del caso y se partió del marco teórico elaborado por O`Shea, Chugh y Allen (2008) sobre los factores que determinan la creación de *spin-offs* académicas. La información se obtuvo por medio de entrevistas personales a funcionarios de las universidades públicas del país: Universidad de Costa Rica (UCR), Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y Universidad Nacional (UNA) y la consulta de fuentes secundarias para recabar los datos necesarios. Se encontró que el elemento determinante *emprendedor académico* es, por mucho, el factor trascendental. Los determinantes *institucional*, *recursos organizativos* y *externo* presentan debilidades que hacen difícil la aparición de *spin-offs* académicas, por lo que, en general, se llega a la conclusión de que el ambiente en las universidades públicas de Costa Rica es poco favorable para el emprendimiento académico. Es necesario mejorar la cantidad y calidad de la investigación en áreas de ingeniería, destinar más fondos a la investigación en estas áreas, promover la vinculación de los investigadores académicos con el sector productivo para incrementar las investigaciones aplicadas y financiadas con fondos externos, flexibilizar el marco legal a fin de contar con un ambiente universitario más favorable para el emprendimiento de *spin-offs* académicas y contar con fuentes de capital de riesgo. Este artículo contribuye a que los tomadores de decisiones cuenten con elementos propicios para diseñar una estrategia que fomente la creación de *spin-offs* académicas en las universidades públicas de Costa Rica.

Keywords

Academic spin-off; University; determinants factor; strategy.

Abstract

This paper presents the results of the determinants about the creation of academic spin-off in public universities in Costa Rica. Case methodology was used and the theoretical framework developed by O`Shea, RP, Chugh, H, and Allen, T (2008) about the determinants of the spin-off academic. The information was collected through personal interviews of the public universities of Costa Rica (UCR, UNA and ITCR) and consultation of secondary sources to collect the data necessary. It was found that the entrepreneurial factor academia is by far the transcendental factor, determining institutional, organizational and external resources have weaknesses that make it difficult the emergence of Spin-off academic, so it is generally concluded that the environment in the public universities of Costa Rica, is unfavorable to the academic enterprise. Is required to improve the quantity and quality of research in engineering, allocate more funds for research in these areas, promote linking academic researchers with the productive sector to increase applied research and externally funded, more flexible legal framework to provide a more favorable environment for entrepreneurship in academic spin off university environment; and have sources of venture capital. This article contributes to decision makers with supportive elements to design a strategy that encourages the creation of academic spin off in public universities in Costa Rica.

Introducción

La creación de empresas constituye una de las principales fuentes de generación de riqueza de cualquier entorno geográfico; de ahí la importancia de referirnos al tema de la creación de empresas de base tecnológica y en particular a las *spin-offs* académicas.

Las *spin-offs* académicas son empresas que se basan en el conocimiento científico y tecnológico desarrollado por docentes e investigadores o estudiantes de doctorado de las universidades. Se consideran el mejor instrumento para la transferencia de la investigación a la sociedad, por ser innovadoras, altamente competitivas y de gran aceptación en el mercado (ANCES, 2003). El contexto mundial de competitividad en el que estamos inmersos demanda cada vez mejores productos y hace que los países tengan la urgente necesidad de generar riqueza y lograr su mejor distribución (Ortín, Salas, Trujillo y Vendrell, 2007). En este sentido, la creación de *spin-offs* académicas constituye un importante motor para el desarrollo de la economía (von Graevenitz, Harhoff y Weber, 2010), al favorecer la generación de empleo, la transferencia de conocimiento, la innovación, el valor agregado y el desarrollo del tejido empresarial.

Las universidades deben generar ingresos para enfrentar las restricciones del presupuesto estatal y la necesidad de reponer equipo, debido cada vez más frecuentemente a su pronunciada obsolescencia tecnológica. Asimismo, deben rendir cuentas de la inversión de los recursos públicos en investigación y contribuir con el desarrollo económico local de su contexto (Ortín-Ángel y Vendrell-Herrero, 2014). Así, las universidades se ven involucradas como agentes responsables del desarrollo económico y social de los países. A esta nueva función se la conoce como la tercera misión y está transformando la universidad tradicional en una universidad emprendedora (Rodeiro Pazos, Fernández López, Rodríguez Sandiás y Otero González, 2012). Para Olavarrieta y Villena (2013), la investigación constituye un impulsor fundamental del desarrollo económico, un quehacer propio de la universidad. En la medida en que las investigaciones tengan un carácter práctico, se logrará identificar oportunidades de negocio que pueden convertirse en innovaciones y bienes, crear empresas nuevas o mejorar la competitividad de las existentes (O`Shea, Chugh y Allen, 2008).

La investigación como base para la innovación y competitividad de un país

En una economía globalizada y altamente competitiva, la salud económica y social depende de su capacidad de incorporar conocimiento científico y tecnológico (Beraza Garmendia y Rodríguez, 2010). Por ello, es necesario un sistema de innovación articulado que vincule la ciencia y la tecnología con el desarrollo socioeconómico, apoyado en la interacción de universidades e instituciones de investigación, empresas y gobierno, lo que se conoce como la triple hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

Según Crespi (2010), la evidencia empírica internacional muestra que existe una relación estable y duradera entre las inversiones en innovación y el crecimiento de la productividad de los países y que la relación de causalidad va desde innovación hacia mayor productividad y crecimiento y no al revés. Así, la innovación se convierte en una variable importante para estudiar, dado que impulsa la productividad y el crecimiento, lo que redundaría en la competitividad del país. Por su parte, Molina, Romero y Ramírez (2008) apuntan que países con posiciones altas en innovación en el *Global Innovation Scoreboard Report* (2006) también mostraron posiciones altas en competitividad en el *Global Competitiveness Report* (2005-2007), como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Innovación como base para la competitividad

País	Innovación	Competitividad	Innovación	Competitividad	Innovación	Competitividad
(Top 10)	2008	2008	2009	2009	2010	2010
Suiza	2	2	3	1	2	1
Suecia	6	4	4	4	3	2
Singapur	11	5	10	3	10	3
EE.UU.	1	1	1	2	4	4
Alemania	4	7	5	7	13	5
Japón	3	9	2	8	1	6
Finlandia	5	6	6	6	6	7
Holanda	9	8	9	10	8	8
Dinamarca	7	3	7	5	9	9
Israel	13	23	17	27	11	24
México	70	60	67	60	69	66

Fuente: Molina, Romero y Ramírez (2008).

Las investigaciones sobre tasas de retorno referentes a la inversión en proyectos de innovación indican que pueden ser altas. Crespi (2010) indica que se requiere un complejo conjunto de instrumentos de política que van más allá de las medidas usuales de estímulo a la innovación y que deben ser articulados con un amplio conjunto de políticas públicas en temas distintos, como políticas financieras, laborales, comerciales y de protección a la competencia, entre otras; en esta lista se debe incluir la academia por ser fuente de generación de conocimiento a través de la investigación. De igual manera, Molina, Romero y Ramírez (2008), refiriéndose al Sistema Nacional de Innovación Mexicano, plantean la hipótesis de que los agentes de la innovación no están articulados en una estructura que genere las condiciones propicias para el tránsito del conocimiento hacia la innovación. En esta misma línea, Lederman, Messina, Pienknagura y Rigolini (2014, p. 3) titulan su investigación *El emprendimiento en América Latina: muchas empresas y poca innovación* y hacen referencia a que existe una gran debilidad en el aspecto emprendedor de América Latina y el Caribe: la escasez de innovación. Añaden que esta brecha existe tanto en investigación y desarrollo (I+D) y patentes como en el contexto de la innovación de productos y procesos, lo que afecta por igual tanto a las empresas grandes como a las pequeñas. Justamente, Olavarrieta y Villena (2013) indican que la investigación constituye un impulsor fundamental del desarrollo económico, dado que la aplicación práctica de los trabajos con carácter científico que resulta de su quehacer conduce a las empresas a la innovación y la mejora de la competitividad. Así, se puede concluir que la carencia de innovación en América Latina y el Caribe tiene su origen, entre otras cosas, en la carencia de más investigación y que esta sea de calidad, lo que va de la mano con el fortalecimiento de la inversión en I+D para impactar de manera contundente en el mercado.

Es importante resaltar que no solo es necesario el incremento en el presupuesto de investigación, también se requiere una estrategia nacional articulada. Por tal motivo, en el siguiente apartado exploraremos los factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas desarrollados por O'Shea, Chugh y Allen (2008), quienes realizaron una amplia revisión bibliográfica y proponen un conjunto de ellos. Este modelo teórico puede ayudar a explicar por qué existen

pocos emprendimientos innovadores en una economía y por qué el surgimiento de las *spin-offs* académicas, las empresas de base tecnológica en nuestras economías, no es tan frecuente como debería ser.

Factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas

O`Shea et al. (2008) estructuran cuatro factores “determinantes de la creación de *spin-offs* en el contexto universitario”, a saber: 1) los atributos y las características de personalidad de los emprendedores académicos, 2) los recursos propios y las capacidades de la universidad, 3) la estructura universitaria y las políticas de comercialización, y 4) los factores ambientales que influyen en los emprendimientos académicos. La Figura 1 expone en forma gráfica este modelo y se inicia a partir de la identificación de la oportunidad tecnológica (Roberts, 1991a).

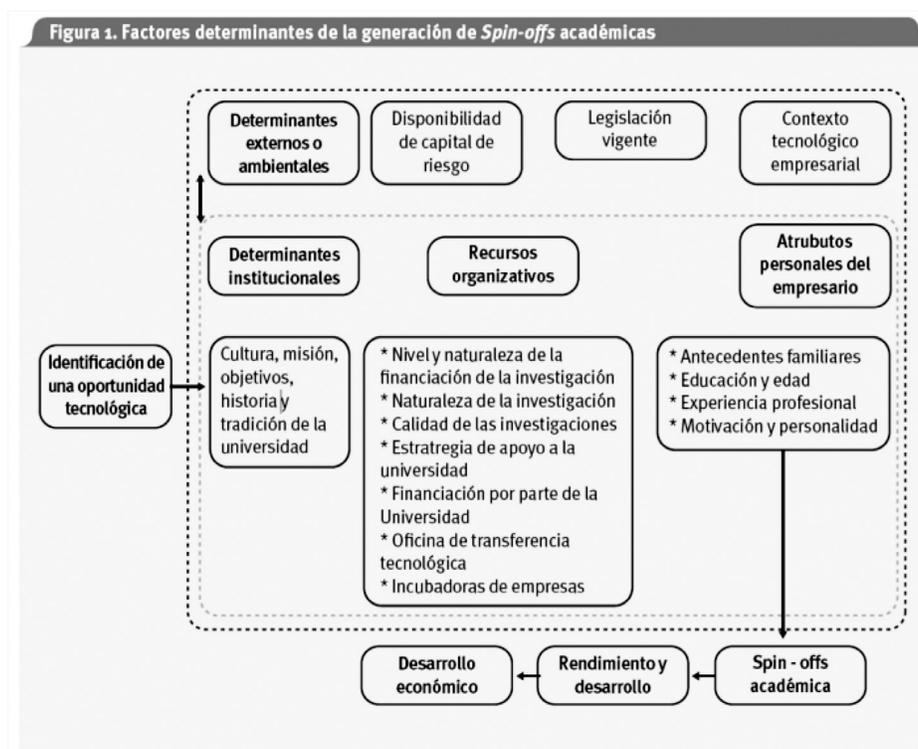


Figura 1. Factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas. Fuente: Monge-A, Briones-P, y García-P. (2011).

A continuación se describe brevemente cada factor determinante.

El emprendedor académico como determinante

El emprendedor académico es clave en el proceso de creación de empresas académicas, porque es el agente creador de la *spin-off*. Sus características personales, tales como personalidad, habilidades, trayectoria profesional, motivación y disposición a implicarse en actividades empresariales, hacen que llegue a crear la empresa a pesar de muchas dificultades (Aceytuno y Paz, 2008). En otro artículo se expondrá ampliamente sobre las características, perfil y motivaciones para emprender. Por el momento diremos que deben existir emprendedores académicos con experiencia en investigación en las áreas de ingeniería, con un nivel académico alto, maestrías científicas o doctorados, dinamizados y con una actitud

favorable hacia la cooperación entre empresas y grupos de investigación, tal como lo definen Castro-Martínez, Fernández de Lucio, Gutiérrez-Gracia y Añón (2001).

Recursos organizativos de la universidad

Los recursos disponibles en cada universidad son un determinante que influye en el número de *spin-offs* creadas y permite explicar sus diferencias: el nivel de innovación de la tecnología transferida al mercado, su calidad, la capacidad de determinar una oportunidad de mercado, si existe o no una estrategia institucional que apoye la creación de las *spin-offs* dentro de la universidad y si existen instancias tales como oficinas de transferencia e incubadoras (Aceytuno y Paz, 2008). Entre estos recursos están:

- a) El nivel y naturaleza de los fondos que se utilizan para financiar la investigación. O`Shea et al. (2004) explican que son aspectos importantes, porque en la universidad debe existir un presupuesto fuerte dispuesto para la investigación. Sin embargo, a mayor cantidad de investigaciones universitarias financiadas por el sector privado, mayor probabilidad de que un investigador descubra una oportunidad de Mercado comercializable. Los investigadores financiados por el sector privado son más activos en la transferencia comercial de los resultados, mediante el uso de patentes y empresas *spin-off* (Aceytuno y Paz, 2008).
- b) La naturaleza de la investigación (básica o aplicada) incluye la probabilidad de identificar oportunidades comerciales y su disposición a comercializar los resultados de la investigación. Este aspecto varía entre los distintos campos científicos y es más frecuente en los sectores de actividad científica y tecnológica. Así, el financiamiento de investigaciones en ciencia e ingeniería tenderá a generar más *spin-offs*; destacan entre ellas las investigaciones realizadas en ciencias de la salud, informática y química (O`Shea et al., 2004; Fontes, 2005).
- c) La calidad de los investigadores constituye un factor que influye directamente en la obtención de resultados importantes, susceptibles de ser comercializados mediante una *spin-off*. Esto, a su vez, se relaciona con la calidad de la investigación en la universidad como un factor determinante en la generación de *spin-offs*, dado que si la investigación es de calidad, el emprendimiento también lo será (O`Shea et al., 2004; Powers y McDougall, 2005). La calidad de los investigadores se mide a través de: i) la competitividad investigadora, medida como porcentaje de proyectos de I+D aprobados sobre los presentados; y ii) esfuerzo investigador, medido como el porcentaje de proyectos de I+D aprobados por profesor en nómina (COTEC, 2006). La calidad de la investigación genera prestigio tanto al investigador como a la universidad y es un plus a la hora de buscar financiamiento para explotar tecnologías con incertidumbre en el mercado. Además los “científicos estrella” buscarán crear *spin-offs* para obtener la rentabilidad de su conocimiento (Zucker, Darby y Brewer, 1998; Di-Gregorio y Shane, 2003).
- d) Según Clarysse, Wright, Lockett, Van de Velde y Vohora (2005), en la estrategia de apoyo a la generación de *spin-offs* académicas relacionadas con la cultura y los objetivos de la universidad se diferencian tres modelos: i) modelo de selección baja, cuyo objetivo es generar un mayor número de *spin-offs*, tanto de alumnos como de investigadores, sin darle importancia al aspecto económico y financiero; ii) modelo de apoyo, que considera la generación de *spin-offs* como una forma de comercializar los resultados de la investigación, de manera alternativa a la licencia de patentes; y iii) modelo de la incubadora, cuyo objetivo es buscar oportunidades derivadas de la investigación científica, donde la *spin-off* es la forma más beneficiosa de explotación comercial

frente al licenciamiento de patentes. Estas estrategias presuponen la existencia de una decisión previa en la universidad de tener *spin-offs* académicas para comercializar sus investigaciones; esto también implica un avance en la cultura universitaria hacia el paradigma de la universidad emprendedora, lo cual es muy positivo para la aparición de *spin-offs* académicas, dado que sería bien visto que los académicos funden empresas.

- e) La disponibilidad de oficinas de transferencia tecnológica en la universidad, es decir, las unidades creadas para mediar entre los investigadores y la industria, se considera un factor determinante del surgimiento y desarrollo de *spin-offs* universitarias (Lockett, Siegel, Wright y Ensley, 2005; O’Gorman, Byrne y Pandya, 2008; O’Shea et al., 2008). Sus funciones incluyen la promoción de las *spin-offs* y la difusión de los resultados de la investigación que se lleva a cabo (Siegel, Waldman y Link, 2003), así como la gestión del valor de la propiedad intelectual (Meseri y Maital, 2001) y la colaboración con los investigadores en la difusión de los resultados de su investigación (Carlsson y Fridh, 2002; Jain y George, 2007). Destacan como funciones de las oficinas de transferencia (Roberts y Malone, 1995): i) el acompañamiento en las decisiones durante la evaluación de las posibilidades de comercialización del invento, ii) la planificación de la protección intelectual del invento, iii) la vinculación de los empresarios con empresas de capital riesgo, y iv) la participación en los organismos gestores de la empresa. Aunque no existe consenso sobre la efectividad de las oficinas de transferencia de tecnología en la generación de *spin-offs*, su influencia se considera generalmente positiva (O’Shea, Allen, Morse, O’Gorman y Roche, 2007). Además, otros autores indican que su efectividad está vinculada a su antigüedad y destacan que los empresarios, en ocasiones, no están satisfechos con el asesoramiento recibido (Siegel et al., 2003). No obstante, constituye un elemento más de apoyo en una actividad compleja e influenciada por varios factores, como el efecto del entorno empresarial (Debackere, 2000); también es importante considerar el contexto social e institucional en el que se desenvuelven estas oficinas (Jain y George, 2007).
- f) Por último, está la presencia de las incubadoras de empresas, que son útiles durante sus primeros años de actividad y cuando existen fuertes relaciones entre los investigadores y la universidad (Rogers, Takegami y Yin, 2001; Clarysse y Moray, 2004; Rothaermel y Thursby, 2005). Otras investigaciones muestran que la influencia de las incubadoras universitarias sobre la generación de *spin-offs* no es relevante, aunque su presencia se considera positiva porque pueden favorecer el éxito (Di-Gregorio y Shane, 2003).

Determinantes institucionales

Los autores O’Shea et al. (2004), Djokovic y Souitaris (2008), Markman, Siegel y Wright (2008), Martinelli, Meyer y von Tunzelmann (2008) identifican tres factores principales: la misión de la universidad, la cultura y su historia y la tradición, los cuales caracterizan a las universidades dentro del paradigma de la “universidad emprendedora”, en las que estos factores definen la orientación hacia la comercialización de los resultados de su investigación y la creación de empresas, tal como ocurre en las universidades referenciadas, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y la Universidad de Stanford, ambas en EE.UU. (Kenney y Richard, 2004; Siegel, Veugelers y Wright, 2007).

Existen universidades en cuya cultura predomina el “paradigma científico” (Feldman y Desrochers, 2004), que evita la implicación de los científicos en la comercialización de la investigación, no se favorece ningún tipo de transferencia tecnológica y menos aún la creación de empresas por parte de los investigadores. Según Ndonzuau, Pirnay y Surlemont (2002), el paradigma científico ha promovido un sistema de recompensas en la universidad, en el que identifican tres características no favorables a la transferencia tecnológica: a) la estrategia de

“publicar o morir”, b) la ambigüedad de la relación de los investigadores con el dinero y c) la naturaleza desinteresada de la investigación académica. Por otro lado, Kirby (2006) apunta que la naturaleza impersonal de las relaciones en la universidad, su estructura jerárquica, el conservadurismo o la inexistencia de métodos de compensación apropiados pueden ejercer un efecto desincentivador de la actividad empresarial. Así, universidades con una misión, cultura y tradición de vinculación con el sector productivo son más proclives a la fundación de *spin-offs* académicas, por lo que se pueden incluir dentro del paradigma de la universidad emprendedora.

Determinantes externos o ambientales

Los determinantes externos o ambientales pueden o no impulsar la creación de *spin-offs* académicas. Su importancia radica en que son condicionantes externos del contexto de la universidad. Un contexto externo favorable incluye: i) la existencia de empresas de capital riesgo, las cuales financian a las nuevas empresas a cambio de participaciones en su capital social y apoyan proyectos que, por diversas causas –tales como ser un producto innovador, tener un alto índice de riesgo o ser de tamaño pequeño–, no pueden acudir a las fuentes de financiación tradicionales a un costo aceptable (Sarasa, 1986). Las empresas de capital de riesgo procuran reducir el riesgo de la inversión mediante la selección de los proyectos a financiar y la participación activa en la gestión de la nueva empresa. La disponibilidad de fondos de capital de riesgo influye positivamente en la generación de *spin-offs* (Powers y McDougall, 2005). Por su lado, Sorenson y Stuart (2001) señalan que la probabilidad de que una empresa *spin-off* reciba financiación de capital riesgo se reduce a medida que la distancia geográfica entre ambas es mayor. Di-Gregorio y Shane (2003) consideran el capital de riesgo externo como un factor determinante en la generación de *spin-offs* universitarias y apuntan que el capital de riesgo de la universidad no genera efecto alguno, dado que supone un sustituto del capital externo en la generación de la *spin-offs*; ii) la entrada en vigor de leyes que favorezcan la creación de *spin-offs*; en general, la legislación vigente en materia de universidades y propiedad intelectual se considera un determinante importante para la generación de *spin-offs*. Shane (2004) señala que la entrada en vigor de la Bayh-Dole Act en EE.UU. –ley de 1980 que concede a los centros de investigación los derechos de propiedad intelectual sobre los resultados de la investigación financiada con fondos públicos– tuvo efectos positivos sobre la generación de *spin-offs* universitarias. La legislación española, a través de la Ley Orgánica Universitaria (LOU) y sus reformas en 2007, fomentan la interrelación universidad-industria (Rodríguez, 2001). En el anterior marco normativo español, la creación de empresas por parte del personal de una universidad estaba muy limitada, dada la incompatibilidad entre ser partícipe en una empresa privada y el trabajo en la universidad. La reforma a la LOU eliminó esta limitación y estableció, entre otras, la posibilidad de que los profesores de las universidades públicas disfruten de un quinquenio sabático para crear una *spin-off* académica, mientras conservan su plaza en la universidad. Bacchiocchi y Montobbio (2007) coinciden en señalar la cautela que debe tenerse al diseñar las políticas de innovación, especialmente al intentar imitar las legislaciones de patentes vigentes en EE.UU., como la Bayh-Dole Act, sin tomar en cuenta el contexto local; iii) finalmente, otro de los factores externos que puede influir sobre la creación de *spin-offs* académicas es el contexto tecnológico y empresarial. Algunos autores destacan que el surgimiento de *spin-offs* en universidades que se encuentren localizadas en un entorno altamente tecnológico y emprendedor será mayor que en otras que carezcan de él (Roberts, 1991b; Saxenian, 1994; Jong, 2006; O’Shea et al., 2007). También Aceytuno y Paz (2008) sostienen que el contexto tecnológico y empresarial y su relación con la universidad promoverán la aparición de *spin-offs* académicas.

Este marco teórico permite observar el nivel de complejidad que conlleva la generación de *spin-offs* académicas. Por ello, el diseño de una política de fomento de las *spin-offs* académicas

debe basarse en un análisis cuidadoso del contexto y las instituciones que en él trabajan (Aceytuno y Paz, 2008).

Metodología

El objetivo principal de esta investigación es contribuir a promover la creación de *spin-offs* académicas en las universidades públicas de Costa Rica, a través de la caracterización de los factores determinantes. Se utilizó la metodología cualitativa de análisis de caso y se realizaron entrevistas personales a autoridades de tres de las universidades públicas y funcionarios de gobierno por medio de un cuestionario. También se hizo una revisión bibliográfica que incluyó un análisis de planes, programas y políticas de investigación y extensión de las universidades públicas costarricenses de acuerdo con los trabajos realizados por O' Shea et al. (2007) y Aceytuno y Paz (2008).

La pregunta de investigación en que se basó este trabajo es: ¿Cuál o cuáles de los factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas en el entorno de las universidades públicas de Costa Rica han favorecido o retrasado su aparición? El Cuadro 2 presenta el instrumento utilizado para recopilar la información.

Cuadro 2. Variables: factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas

Variable	Pregunta	Medición
Recursos organizativos de la universidad	Indique la cuantía de los fondos destinados a la investigación	Cantidad de fondos en US\$
	Indique la cuantía de fondos para la investigación, dividiéndolos según su procedencia, pública o privada, durante los últimos seis años.	Cantidad de fondos en US\$
	Indique la cantidad de propuestas de investigación presentadas por año y la cantidad de propuestas aprobadas durante los últimos seis años.	Cantidad de proyectos aprobados entre propuestas de investigación
	Indique la cantidad de investigadores por área y género.	Cantidad de proyectos entre cantidad de investigadores por año
	¿En su universidad existe una estrategia de apoyo a la generación de <i>spin-offs</i> académicas?	Sí/No
	¿En su universidad existe una oficina de transferencia de tecnología?	Sí/No
	¿En su universidad existe una incubadora de empresas?	Sí/No
Institucionales	¿La misión de la universidad está orientada hacia la ciencia y la tecnología?	Sí/No
	¿En la universidad es bien vista la creación de empresas y el desarrollo de actividades emprendedoras?	Sí/No
	¿La historia y tradición de la universidad favorecen la creación de empresas y el emprendedurismo?	Sí/No

Continúa...

Variable	Pregunta	Medición
Ambientales o externos	¿En su país existen empresas de capital de riesgo?	Sí/No
	¿La legislación del país y de la universidad favorece la creación de spin-offs académicas?	Sí/No
	¿El contexto tecnológico y empresarial de su universidad está orientado hacia la ciencia y la tecnología?	Sí/No

Fuente: Tomado de Monge (2014).

Resultados

A manera de corolario, el marco conceptual de los determinantes y consecuencias de la actividad de las *spin-offs* académicas propuesto por O`Shea et al. (2008) presenta los elementos para elaborar un diagnóstico de las condiciones preexistentes en las universidades costarricenses. A partir de este, podemos plantear una estrategia para la promoción de las *spin-offs* académicas:

Spin-off académica= Oportunidad de negocio + emprendedor académico + determinantes institucionales + recursos organizativos + determinantes externos.

La ausencia o debilidad en alguno de estos factores determinantes dificultaría la aparición de empresas de base tecnológica, dado que no se contaría con un ambiente proclive a su creación y también condicionaría las características de las empresas que aparezcan. Sin embargo, varios autores (Vohora y Lockett, 2003; Clarysse et al., 2005; Clarysse, Wright, Lockett, Mustar y Knockaert, 2007; Wright, Hmieleski, Siegel y Ensley, 2007; O`Shea et al., 2008) coinciden en que el factor determinante más importante es el emprendedor académico, como ya se indicó.

El Cuadro 3 presenta un resumen de algunos de los hallazgos de la investigación *La creación de spin-offs académicas en Costa Rica: un análisis empírico*.

Cuadro 3. Algunos de los hallazgos de la investigación *La creación de spin-offs académicas en Costa Rica: un análisis empírico*

Variable	Pregunta	Hallazgos
Recursos organizativos de la universidad	Nivel y cuantía de los fondos que se utilizan para financiar la investigación	De 2008 a 2009 la inversión en I+D pasó de un 0,40 a un 0,53% del PIB. Se considera que los fondos son insuficientes; a pesar del gran esfuerzo, está lejos del 3% recomendado (MICIT-CR, 2011).
	Naturaleza de la investigación	Del total de inversión en investigación de las universidades para ingenierías y tecnologías y ciencias médicas (16,32%), en el año 2009 se destinaron 6% y 10,32%, respectivamente (CONARE: Subcomisión de Indicadores de Investigación Universitaria, 2011). Esas son las áreas más proclives a generar una mayor vinculación con el sector productivo, lo mismo que licenciamientos, patentes y empresas basadas en ciencia y tecnología y particularmente spin-offs académicas (Shane, 2004).

Continúa...

Variable	Pregunta	Hallazgos
Recursos organizativos de la universidad	Procedencia de fondos para la investigación, pública o privada.	20% privado. 80% público (2008). (CONARE: Subcomisión de Indicadores de Investigación Universitaria, 2011).
	Calidad de los investigadores	No se tienen datos
	Índice de esfuerzo investigador	No se tienen datos
	Índice de competitividad investigadora	Cantidad de proyectos entre cantidad de investigadores por año
	Estrategia de apoyo a la generación de spin-offs	No.
	¿Existe una oficina de transferencia de tecnología?	Sí, todas las universidades públicas de Costa Rica cuentan con oficina.
	¿Existe una incubadora de empresas?	Sí, todas las universidades públicas de Costa Rica cuentan con una incubadora.
Institucionales	¿La misión de la universidad está orientada hacia la ciencia y la tecnología?	Primordialmente, las universidades son de corte docente.
	¿En la universidad es bien visto la creación de empresas y el desarrollo de actividades emprendedoras?	En general, las universidades no son proclives a la creación de empresas; sin embargo, se promueve el desarrollo de actividades emprendedoras.
	¿La historia y tradición de la universidad favorecen la creación de empresas y el emprendedurismo?	En general, la historia y tradición de la universidad no favorecen la creación de empresas y el emprendedurismo.
Ambientales o externos	¿Existen empresas de capital de riesgo?	Existen empresas de capital de riesgo privado. En el ámbito público se encuentra en estudio la legislación sobre capital de riesgo.
	¿La legislación del país y de la universidad favorece la creación de spin-offs académicas?	La legislación nacional y de cada universidad no favorece la creación de spin-offs académicas. <ul style="list-style-type: none"> • La ley anticorrupción • Dedicación exclusiva
	¿El contexto tecnológico y empresarial de su universidad está orientado hacia la ciencia y la tecnología?	Sí.

Fuente: Elaboración propia a partir de Monge (2014).

Elementos para el diseño de una estrategia para la creación de empresas de base tecnológica: *spin-offs* académicas

El Cuadro 3 presenta, para cada determinante de la metodología de O`Shea et al. (2008), las recomendaciones para el diseño de una estrategia para la creación de *spin-offs* académicas.

Cuadro 3. Algunos elementos para el diseño de una estrategia para la creación de empresas de base tecnológica

Determinante	Pregunta	Recomendación
Recursos organizativos de la universidad	Nivel y cuantía de los fondos que se utilizan para financiar la investigación	A mayor cantidad de vínculos entre el sector productivo y los centros de investigación universitarios, mayor será la probabilidad de creación de empresas. Por lo tanto, se deben incrementar las becas doctorales en ingeniería y tecnología y promover la vinculación entre los académicos y el sector productivo.
	Naturaleza de la investigación	Promover la investigación en las áreas de ingeniería y mayor masa crítica de investigadores en las áreas de C y T. Esto contribuirá a favorecer un ambiente proclive a la creación de <i>spin-offs</i> .
	Procedencia de fondos para la investigación, pública o privada.	Mayor cantidad de académicos dinamizados, vinculados con el sector productivo, permitirá la determinación de oportunidades de mercado y mayor atracción de fondos privados para investigación.
	Calidad de los investigadores	<p>Permanente capacitación y actualización del personal evaluador de los proyectos de investigación.</p> <p>Diseñar formularios de evaluación que permitan la estandarización de criterios de evaluación.</p> <p>Apropiación de la tecnología de información para agilizar la tramitación de propuestas.</p> <p>Diseñar índices para medir la calidad de la investigación.</p> <p>Ejercicio de hoja de ruta para los propuestas de investigación; esto contribuirá a identificar cuáles propuestas serán susceptibles de generar un emprendimiento.</p>
	Índice de esfuerzo investigador	Generar estadísticas: cantidad de propuestas de investigación presentadas por año y cantidad de propuestas aprobadas.
	Índice de competitividad investigadora	Generar estadísticas: cantidad de investigadores por área y género entre cantidad de proyectos de investigación. Entre mayor sea la calidad y cantidad de investigadores por proyecto, mayor probabilidad habrá de crear <i>spin-offs</i> de calidad.
	Estrategia de apoyo a la generación de <i>spin-offs</i>	Conciencia en las vicerrectorías de Investigación de que promover la creación de empresas de base tecnológica es parte de su quehacer.
	¿Existe una oficina de transferencia de tecnología?	Necesidad de personal capacitado, metodologías y funciones claras.

Continúa...

Determinante	Pregunta	Recomendación
Institucionales	¿Existe una incubadora de empresas?	Necesidad de personal capacitado, metodologías y funciones claras.
	¿La misión de la universidad es académica, investigadora o emprendedora?	Orientar la misión de la universidad hacia el involucramiento de las necesidades de la sociedad, en particular hacia el emprendedurismo académico.
	¿En la universidad es bien vista la creación de empresas y el desarrollo de actividades emprendedoras?	Promover la cultura emprendedora entre los docentes e investigadores. Diseñar lineamientos institucionales que favorezcan el emprendedurismo.
	¿La historia y tradición de la universidad favorecen la creación de empresas y el emprendedurismo?	Crear un fondo concursable para promover exclusivamente propuestas de investigación aplicada, susceptible de ser comercializada.
Ambientales o externos	¿Existen empresas de capital de riesgo?	Promover legislación nacional que apoye la creación de fondos de capital de riesgo.
	¿La legislación del país y la universidad favorece la creación de <i>spin-offs</i> académicas?	<p>Legislación nacional que promueva y flexibilice la creación de <i>spin-offs</i>. Por ejemplo,</p> <p>A quienes formalmente hayan inscrito una propuesta de investigación en la universidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceder un “tiempo de gracia” que exonere de la renuncia a la dedicación exclusiva de los investigadores hasta que la empresa produzca utilidades. Y que este beneficio sea gradualmente disminuido. • Que en caso de que la iniciativa emprendedora llegara a fracasar, el emprendedor se pueda reincorporar a su puesto laboral en la universidad. • Contar con un espacio en la aceleradora universitaria. • La universidad, a través de la fundación, puede capitalizar el apoyo brindado al emprendedor, de tal forma que capitalice en acciones su participación y reciba utilidades por la venta de esas acciones. • Promover el mercado de capitales para la venta de acciones, ya que a la universidad no le debe interesar ser socia eterna en la empresa.
	¿El contexto tecnológico y empresarial de su universidad está orientado hacia la ciencia y la tecnología?	Promover la atracción de empresas <i>ancla</i> en el ámbito de la ciencia y la tecnología.

Fuente: Elaboración propia.

Así, a través de estos elementos se debe configurar una estrategia integrada que permita la creación de *spin-offs* académicas en las universidades públicas de Costa Rica.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Esta investigación hace un aporte importante en este campo, al identificar el comportamiento de las variables que conforman los factores determinantes de la creación de *spin-offs* académicas y contribuir al diseño de una estrategia universitaria que brinde un ambiente favorable a su creación. Como conclusión general se encuentra que la falta de conocimiento y comprensión del emprendedurismo académico por parte de las autoridades universitarias y de gobierno no ha favorecido la creación de *spin-offs* académicas con el apoyo de la universidad y que las que han surgido lo han hecho en un ambiente poco favorable.

Se concluye que los factores determinantes: a) el “emprendedor académico” y sus motivaciones para emprender, y b) el factor ambiental en lo referente al contexto empresarial costarricense, se configuran como los principales determinantes que explican el surgimiento de los emprendimientos académicos en las universidades públicas costarricenses.

Se concluye que los factores determinantes: a) “recursos institucionales”, como la calidad de la investigación, las áreas en las que se invierte el presupuesto, la cantidad de fondos para investigar y la procedencia de estos (públicos o privados); b) los factores institucionales, como la misión y cultura universitaria; y c) el determinante externo, como la carencia del capital de riesgo y la legislación –tanto nacional como interna de las universidades– han impedido el surgimiento planificado de las de *spin-offs* académicas.

Se concluye que el método de caso utilizado se fundamenta en técnicas cualitativas para la obtención de información de carácter no estructurado, flexible y de tipo psicológico y sociológico, utilizando muestras reducidas de las que se obtiene abundante conocimiento. Evidentemente, los resultados obtenidos no son extrapolables al conjunto total de una población y su utilidad radica en la capacidad para la descripción de hechos y en cómo consigue explicar sus motivaciones con datos (Martínez, 2006).

Además se concluye:

Que las universidades costarricenses deben crear fondos concursables para financiar investigaciones con potencial emprendedor, dado que la investigación es la base del emprendedurismo académico; esto, a su vez, debe ser parte de las funciones de las vicerrectorías de Investigación universitarias.

La necesidad de plantear una estrategia institucional que alinee a los organismos internos de las universidades costarricenses para trabajar en favor de la creación de *spin-offs* académicas, considerando que cuentan con instrumentos como vicerrectorías de Investigación, oficinas de propiedad intelectual, fundaciones, incubadoras e investigadores.

La necesidad de promover mayor cantidad de personal con grado académico de doctorado en las áreas de ingeniería y de ciencia y tecnología, a fin de contar con mayor masa crítica investigadora, proclive a emprender.

La necesidad de promover la dinamización de los investigadores universitarios, a fin de que tengan mayor vinculación con el sector productivo, lo cual redundará en que se atraigan más fondos externos para la investigación y se aumente la probabilidad de visualizar una oportunidad de negocio.

La necesidad de promover un mejor ambiente legal en las universidades públicas costarricenses para estimular la creación de *spin-offs* académicas, dado que el marco legal existente no la favorece.

Como conclusión final, se tiene que el ambiente en las universidades públicas de Costa Rica es adverso para el emprendedor académico. Se hace necesario un esfuerzo país (gobierno, universidades y sector productivo) para dotar al emprendedor académico de mejores condiciones para emprender, es decir, diseñar una estrategia a lo interno de cada universidad para promover la creación de *spin-offs* académicas, promover legislación a escala nacional y universitaria que favorezca el emprendimiento para los investigadores que deseen crear su propia empresa y que se deriven de una investigación debidamente inscrita en las vicerrectorías de Investigación.

Recomendaciones

1. Definir la investigación como eje fundamental del emprendedurismo universitario.
2. Plantear una estrategia institucional desde la más alta esfera que permee toda la institución, de tal manera que exista un alineamiento de las distintas instancias universitarias para promover el emprendedurismo académico (vicerrectorías, proyectos de investigación, oficina de vinculación universidad-empresa, fundación universitaria, escuelas, centros de investigación y aceleradora).
3. Como parte de la Ley 7169, de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico, incluir un capítulo para la creación de *spin-offs* académicas (lo cual es diferente de las empresas auxiliares) en el que se plasme una estrategia para el apoyo de los emprendimientos de base tecnológica surgidos de las universidades.
4. Las universidades deben comprender que la investigación en ciencia y tecnología es la base del emprendedurismo científico; por lo tanto, la promoción de investigaciones con potencial emprendedor debe ser parte de las funciones de las vicerrectorías de Investigación.
5. Promover la investigación en áreas de ciencia y tecnología por ser más proclives a la creación de *spin-offs* académicas; de manera específica, crear un fondo concursable para propuestas de investigación aplicada, a fin de promover emprendimientos tecnológicos.
6. Promover la calidad de la investigación y de sus investigadores, desarrollar índices, tal como propuestas de investigación presentadas vs. propuestas aprobadas, y así identificar su progreso.
7. Diseñar un proceso de evaluación de propuestas de investigación estandarizado (personal capacitado y actualizado, sistemas de información, formularios), con el fin de generar una cultura de calidad en la investigación universitaria.
8. Mayor presupuesto para becas de doctorado en el área de ingeniería y ciencia y tecnología.
9. Promover la investigación y la publicación de artículos científicos entre estudiantes de grado; esto contribuirá a promover la calidad de los futuros científicos, al ser sometidos al escrutinio de pares externos por sus publicaciones.
10. Promover maestrías académicas para fortalecer la cultura de investigación.
11. Promover el uso de la hoja de ruta en las propuestas de investigación como herramienta para identificar a los emprendedores académicos y propuestas de investigación con potencial emprendedor.

12. Establecer una estructura administrativa y legal dentro de la universidad que apoye la creación de *spin-offs* académicas.
13. Promover el mercado de capitales para la venta de acciones.
14. La vinculación universidad-sociedad es fundamental para promover la identificación de oportunidades de negocio basadas en ciencia y tecnología, por lo que esta función debe fortalecerse. Para ello es fundamental la dinamización de los investigadores, lo que es posible si la universidad brinda los espacios y desde que contrata al docente indica claramente que parte de su función será la vinculación con el sector productivo. En la actualidad esta función es voluntaria.

Bibliografía

- Aceytuno, M.T. y Paz, M. (2008). La creación de spin-off universitarias: el caso de la Universidad de Huelva. *Economía Industrial*, (368), 97-111. <http://www.mityc.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/368/97.pdf>
- ANCES. (2003). La creación de empresas de base tecnológica. Una experiencia práctica *Proyecto para la promoción de empresas innovadoras de base tecnológica*. Valencia, España: ANCES, CEIN y otros.
- Bacchiocchi, E. y Montobbio, F. (2007). Knowledge Diffusion from University and Public Research. A Comparison between US Japan and Europe using Patent Citations. *Journal of Technology Transfer*, 34(2), 169-181. doi: 10.1007/s10961-007-9070-y
- Beraza Garmendia, J.M. y Rodríguez, A. (2010). Factores determinantes de la utilización de las spin-off como mecanismo de transferencia de conocimiento en las universidades. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 16(2), 115-135.
- Carlsson, B. y Fridh, A.C. (2002). Technology Transfer in United States Universities. A Survey and Statistical Analysis. *Journal of Evolutionary Economics*, 12, 199-232.
- Castro-Martínez, E., Fernández de Lucio, I., Gutiérrez-Gracia, A. y Añón, M. (2001). La estrategia de dinamización en la cooperación investigación-empresa: desarrollo conceptual y aplicaciones. En *Libro de actas del IX Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica (ALTEC)*, San José.
- Clarysse, B. y Moray, N. (2004). A process study of entrepreneurial team formation: the case of a research-based spin-off. *Journal of Business Venturing*, 19(1), 55-79. doi: 10.1016/s0883-9026(02)00113-1
- Clarysse, B., Wright, M., Lockett, A., Van de Velde, E. y Vohora, A. (2005). Spinning-out New Ventures: A Typology of Incubation Strategies from European Research Institutions. *Journal of Business Venturing*, 20, 183-216.
- Clarysse, B., Wright, M., Lockett, A., Mustar, P. y Knockaert, M. (2007). Academic spin-offs, formal technology transfer and capital raising. *Industrial and Corporate Change*, 16(4), 609-640. doi: 10.1093/icc/dtm019
- P. Meneses Guillén, M. Vilchez Moreira, A. L. Jiménez París, A. Segura Castillo, A. Durán Navarrete y S. Sánchez Espinoza (Eds.), (2011) *Indicadores de Investigación 2006-2009*. (pp. 33). Consejo Nacional de Rectores (CONARE).
- COTEC. (2006). *Tecnología e innovación en España. Informe COTEC 2006*. doi: <http://www.cotec.es>
- Crespi, G. (2010). *Nota técnica sobre el sistema nacional de innovación de Costa Rica*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Debackere, K. (2000). Managing Academic R and D Business at K.U. Leuven: Context, Structure and Process. *R y D Management*, 30(4), 323-328.
- Di-Gregorio, D. y Shane, S. (2003). Why do Some Universities Generate More Start-ups than Others? *Research Policy*, 32, 209-227.
- Djokovic, D. y Souitaris, V. (2008). Spinouts from academic institutions: a literature review with suggestions for further research. *The Journal of Technology Transfer*, 33(3), 225-247. doi: 10.1007/s10961-006-9000-4
- Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), 109-123. doi: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4

- Feldman, M.P. y Desrochers, P. (2004). Truth for Its Own Sake: Academic Culture and Technology Transfer at Johns Hopkins University. *Minerva*, 42(105-126).
- Fontes, M. (2005). The process of transformation of scientific and technological knowledge into economic value conducted by biotechnology spin-offs. *Technovation*, 25(4), 339-347.
- Jain, S. y George, G. (2007). Technology transfer offices as institutional entrepreneurs: The case of Wisconsin Alumni Research Foundation and human embryonic stem cells. *Industrial and Corporate Change*, 16(4), 535-567. doi: 10.1093/icc/dtm017
- Jong, S. (2006). How organizational structures in science shape spin-off firms: the biochemistry departments of Berkeley, Stanford, and UCSF and the birth of the biotech industry. *Industrial and Corporate Change*, 15(2), 251-251-283. doi: <http://search.proquest.com/docview/237210992?accountid=137089>
- Kenney, M. y Richard Goe, W. (2004). The role of social embeddedness in professorial entrepreneurship: a comparison of electrical engineering and computer science at UC Berkeley and Stanford. *Research Policy*, 33(5), 691-707. doi: 10.1016/j.respol.2003.11.001
- Kirby, D. (2006). Creating Entrepreneurial Universities in the UK: Applying Entrepreneurship Theory to Practice. *The Journal of Technology Transfer*, 31(5), 599-603. doi: 10.1007/s10961-006-9061-4
- Lederman, D., Messina, J., Pienknagura, S. y Rigolini, J. (2014). El Emprendimiento en América Latina: Muchas empresas y poca innovación. En *Resumen Estudios del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe*. Washington DC.: Banco Mundial.
- Lockett, A., Siegel, D., Wright, M. y Ensley, M. (2005). The creation of spin-off firms at public research institutions: Managerial and policy implications. *Research Policy*, 34(7), 981-993. doi: 10.1016/j.respol.2005.05.010
- Markman, G.D., Siegel, D.S. y Wright, M. (2008). Research and technology commercialization. *Journal of Management Studies*, 45(8), 1401-1423. doi: 10.1111/j.1467-6486.2008.00803.x
- Martinelli, A., Meyer, M. y von Tunzelmann, N. (2008). Becoming an entrepreneurial university? A case study of knowledge exchange relationships and faculty attitudes in a medium-sized, research-oriented university. *The Journal of Technology Transfer*, 33(3), 259-283. doi: 10.1007/s10961-007-9031-5
- Martínez, P.C. (2006). El método de estudio de caso estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y Gestión*, 20, 165-193.
- Meseri, O. y Maital, S. (2001). A Survey Analysis of University-Technology Transfer in Israel: Evaluation of Projects and Determinants of Success. *Journal of Technology Transfer*, 26, 115- 126.
- MICIT-CR. (2011). *Presentación Indicadores de Ciencia y Tecnología 2009*. Recuperado de: <http://investiga.uned.ac.cr/wp-content/uploads/2014/07/Informe-Indicadores-CyT-2009.pdf>
- Molina, A., Romero, D. y Ramírez, B. (2008). *Estrategias de I+D + I² en el Tecnológico de Monterrey para Impulsar el Desarrollo Competitivo Regional de México*. Congreso de Sistemas de Innovación para la Competitividad, 3er Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG), Guanajuato, México. http://ai.org.mx/ai/images/sitio/2014/04/elecciones/candidatos/inf_web_candidato_pres_mecanica_y_mecatronica_dr_molina.pdf
- Monge A., M. (2014). *La Creación de Spin-off Académicas en Costa Rica: un análisis empírico*. Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- Monge-A., M., Briones-P., A.J. y García-P. de Lema, D. (2011). Factores determinantes de la creación de las Spin Off académicas: caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Cuadernos de Administración, Universidad del Valle*, 27(46).
- Ndonzau, F.N., Pirnay, F. y Surlemont, B. (2002). A stage model of academic spin-off creation. *Technovation*, 22(5), 281-289. doi: 10.1016/S0166-4972(01)00019-0
- O'Gorman, C., Byrne, O. y Pandya, D. (2008). How Scientists Commercialise New Knowledge via Entrepreneurship? *Journal of Technology Transfer*, 33(1), 22-34.
- Olavarrieta, S. y Villena, M.G. (2013). Innovation and business research in Latin America: An overview. *Journal of Business Research*. doi: 10.1016/j.jbusres.2013.11.005
- Ortín, P., Salas, V., Trujillo, M.V. y Vendrell, F. (2007). El spin-off universitario en España como modelo de creación de empresas intensivas en tecnología Secretaría General de Industria: Dirección General de Política de la Pequeña y Mediana Empresa. España: Universidad Autónoma de Barcelona y Universidad de Zaragoza.



- Ortín-Ángel, P. y Vendrell-Herrero, F. (2014). University spin-offs vs. other NTBFs: Total factor productivity differences at outset and evolution. *Technovation*, 34(2), 101-112. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2013.09.006>
- O'Shea, R.P., Allen, T., Morse, K., O'Gorman, C., Roche, F. y Cáceres, R. (2004). Universities and Technology Transfer: A review of academic entrepreneurship literature. *Irish Journal of Management*, 25 (2), 11-29.
- O'Shea, R.P., Allen, T., Morse, K., O'Gorman, C. y Roche, F. (2007). Delineating the anatomy of an entrepreneurial university: the Massachusetts Institute of Technology experience. [Delineando la anatomía de un emprendedor universitario: La experiencia del Instituto Tecnológico de Massachusetts]. *R y D Management*, 37(1), 16.
- O'Shea, R.P., Chugh, H. y Allen, T. (2008). Determinants and consequences of university spinoff activity: a conceptual framework. *The Journal of Technology Transfer*, 33(6), 653-666. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10961-007-9060-0>
- Powers, J.B. y McDougall, P. (2005). Policy orientation effects on performance with licensing to start-ups and small companies. *Research Policy*, 34(7), 1028-1042. doi: 10.1016/j.respol.2005.05.014
- Roberts, E.B. (1991a). *Entrepreneurs in High Technology Lesson from MIT and Beyond*. New York: Oxford University Press.
- Roberts, E.B. (1991b). An Environment For Entrepreneurs. En to be published in K. R. Manning et al (Ed.), *Entrepreneurs in High Technology: Lessons from MIT and Beyond*. New York: Oxford University Press.
- Roberts, E.B. y Malone, D.E. (1995). *Policies and Structures for Spinning Off New Companies from Research and Development Organizations*. Alfred P. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- Rodeiro Pazos, D., Fernández López, S., Rodríguez Sandiás, A. y Otero González, L. (enero-abril, 2012). La financiación de la investigación como motor del emprendimiento académico: análisis de las patentes universitarias. *Revista de Educación*, 357.
- Rodríguez Zapatero, J.L. (2001). *Ley Orgánica 4/2007 (Vol. por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades): BOE nº 89 de 13 de abril de 2007*.
- Rogers, E.M., Takegami, S. y Yin, J. (2001). Lessons learned about technology transfer. *Technovation*, 21(4), 253-261.
- Rothaermel, F.T. y Thursby, M. (2005). Incubator firm failure or graduation? The role of university linkages. *Research Policy*, 34, 1076-1090.
- Sarasa, J.A. (1986). Capital-riesgo: un modelo para el desarrollo empresarial. *Revista de Economía Vasca*, 2, 141-151.
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Cambridge (Mass.) y Londres.
- Shane, S. (2004). *Academic Entrepreneurship University spin offs and Wealth Creation*. Londres: Edward Elgar Publishing.
- Siegel, D.S., Waldman, D. y Link, A. (2003). Assessing the Impact of Organizational Practices on the Relative Productivity of University Technology Transfer Offices: An Exploratory Study. *Research Policy*, 32, 27-48.
- Siegel, D.S., Veugelers, R. y Wright, M. (2007). Technology transfer offices and commercialization of university intellectual property: Performance and policy implications. *Oxford Review of Economic Policy*, 23(4), 640-660. doi: 10.1093/oxrep/grm036
- Sorenson, O. y Stuart, T.E. (2001). Syndication Network and the Spatial Distribution of Venture Capital Investments. *American Journal of Sociology*, 106 (6), 1546-1588.
- Vohora, A. y Lockett, A. (2003). *Critical junctures in the development of university high-tech spinout companies*. *Academy of Management*.
- von Graevenitz, G., Harhoff, D. y Weber, R. (2010). The effects of entrepreneurship education. *Journal of Economic Behavior y Organization*, 76(1), 90-112. doi: 10.1016/j.jebo.2010.02.015
- Wright, M., Hmieleski, K.M., Siegel, D.S. y Ensley, M.D. (2007). The role of human capital in technological entrepreneurship. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 31(6), 791-806. doi: 10.1111/j.1540-6520.2007.00202.x
- Yin, R. (2009). Discovering the future of the case study method in evaluation research. *Evaluation Practice*, 15(3), 283-290. doi: Doi: 10.1016/0886-1633(94)90023-x
- Zucker, L., Darby, M. y Brewer, M.B. (1998). Intellectual human capital and the birth of U.S. biotechnology enterprises. *American Economics Review*, 88(1), 290-305.

Cobertura de la disposición de excretas en Costa Rica en el periodo 2000-2014 y expectativas para el 2021

Excreta disposal coverage in Costa Rica from 2000 to 2014 and outlook for 2021

Darner A. Mora-Alvarado¹, Carlos F. Portuguez-Barquero²

Fecha de recepción: 23 de junio del 2015
Fecha de aprobación: 28 de setiembre del 2015

Mora-Alvarado, D; Portuguez-Barquero, C. Cobertura de la disposición de excretas en Costa Rica para el periodo 2000-2014 y expectativas en el 2021. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 43-62.

1 MQC/MSc en Salud Pública. Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica. Teléfono: (506) 2279-6144. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr.
2 Funcionario del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.

Palabras clave

Cobertura; disposición; evolución; excretas; exposición.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar las coberturas y evolución del porcentaje de población con sistemas de disposición de excretas (DE) en Costa Rica en el periodo 2000-2014, según los diferentes mecanismos de evacuación como alcantarillado, tanque séptico, letrinas y otros, aunado al inventario y evaluación de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Total (DBO mg/L) y de Coliformes fecales (CF/100 mL), en los sistemas de tratamiento convencionales de aguas residuales a cargo del AyA y el análisis de las expectativas de cobertura con DE en el país para el año 2021.

Para cumplir con el objetivo del estudio se aplicaron los siguientes pasos; primero, se analizaron las enfermedades vinculadas al contacto con las excretas; segundo, se definió el concepto de la UNICEF y la OMS de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas”; tercero, se describió la cobertura de la población del país con DE mediante alcantarillado, tanques sépticos, letrinas y otros, tanto a nivel nacional como regional y en la zona rural y urbana, en el año 2014; cuarto, se realizó un inventario de los sistemas de tratamiento convencional de aguas residuales y las eficiencias con la remoción de DBO total y CF/100 mL en las aguas crudas y tratadas controladas por el Laboratorio Nacional de Aguas, en el mismo año 2014; quinto, se realizó un análisis de la evolución de las coberturas de DE con los diferentes mecanismos de evacuación durante el periodo 2000-2014; por último, como sexto punto, se establecieron las expectativas de DE por alcantarillado y tanques sépticos para el año 2021.

Se hizo un resumen de los factores vinculados a la transmisión de enfermedades infecciosas transmitidas a los seres humanos por contacto con excretas. Posteriormente, se definió el concepto de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas” de la UNICEF y la OMS. Con el desarrollo de los datos de cobertura de la población con DE en el 2014, se comprobó que el país cuenta con un 71,5% de habitantes con tanques sépticos, 26,6% con alcantarillado, 1,5% con letrinas y 0,4% no cuenta con ningún mecanismo de DE. Se elaboró un inventario de 58 sistemas de tratamiento de aguas residuales. Se determinaron las eficiencias de remoción de DBO total (mg/L) y CF/100 mL, comprobándose que solamente la laguna de estabilización de Santa Cruz cumple con el valor permitido de 50 mg/L en los efluentes tratados. En el caso de los sistemas de tratamiento convencionales, en su mayoría (78%) cumplieron con el valor permitido de DBO total establecido en la normativa nacional del 2010. Con respecto a la remoción de CF/100 mL, sin bien es cierto los porcentajes son altos (entre 90% y 100%), las elevadas densidades provocan un gran riesgo de contaminación en los cuerpos receptores utilizados en cada sistema. El análisis de la evolución del uso de los diferentes mecanismos de DE, en el periodo de estudio, demuestra un incremento en el uso de tanques sépticos en detrimento del uso de alcantarillado hasta el 2011; no obstante, a partir de 2012 se observa una leve reversión, y en 2014 los datos indican que el uso de tanque séptico bajó a 71,5%.

Por último, el análisis de la ampliación del alcantarillado y tratamiento en los 11 cantones de San José permitirá alcanzar entre el 22% y el 25% de población con DE tratadas y un 50% a 53% en el uso de alcantarillado. Este avance permitirá disminuir el uso de los tanques sépticos al 50% en el año 2021.

Conclusiones

De conformidad con el concepto de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas” de la UNICEF y la OMS, Costa Rica alcanzó un 99% de cobertura con DE mediante alcantarillado, tanques

sépticos y letrinas, lo que ubica al país a la vanguardia de los países latinoamericanos. Sin embargo, esto es paradójico, debido a que el poco tratamiento de las aguas residuales con sistemas colectivos, o alcantarillado, ha provocado un gran deterioro de los ríos en las zonas urbanas.

Recomendaciones

Es fundamental ampliar las coberturas de DE por alcantarillado sanitario con tratamiento, para sanear los ríos y otros cuerpos de agua superficiales y subterráneas; además, se debe implementar un Programa Nacional de Manejo Adecuado de las Aguas Residuales, planteando metas a mediano y largo plazo, con el propósito de mejorar la salud pública del país.

Keywords

Excreta disposal coverage; expectations; excreta evacuation.

Abstract

The present study aimed to establish excreta disposal coverage and progress in Costa Rica from 2000 to 2014, considering the different mechanisms for excreta evacuation (e.g. drainage, septic tank, and latrine), and assessing the removal of the Biochemical Oxygen Demand (BOD mg/L) and faecal coliforms (CF/100 mL) within conventional wastewater treatment systems managed by AyA. Likewise, the study aimed to assess the excreta disposal coverage expectations for 2021.

Six steps were followed: 1) diseases linked to excreta transmission were analysed; 2) the concept of 'Improved sanitation facilities' established by the UNICEF and the WHO was defined; 3) the excreta disposal coverage was described according to the use of drainage, septic tanks, and latrines, in a centralise and decentralise level, and in urban or rural area during 2014; 4) a stock of wastewater conventional treatment systems were carried out together with the efficiency of BOD and faecal coliforms removal in wastewater and treated water controlled by the National Water Laboratory (LNA) in 2014; 5) an assessment of the progress of excreta disposal coverage along the different mechanisms for evacuation was carried out during the period 2000-2014; and 6) the expectations of excreta disposal by septic tanks or drainage were established for 2021.

A summary was writing up concerning the factors linked to infectious disease transmission to humans by excreta contact. Subsequently, the concept of 'Improved sanitation facilities' established by the UNICEF and the WHO was defined. Based on the data development of the population with excreta disposal coverage in 2014, the study confirmed that 71,5 % of the costarican population possesses septic tanks, 26,6 % drainage, 1,5 % latrines, and 0,4 % lacks of any excreta evacuation mechanism. The stock presented 56 wastewater conventional treatment systems. Efficiency of BOD (mg/L) and coliforms faecal (CF/100 mL) removal were determined; none of the waste stabilization ponds complied with the maximum limit value (50 mg/L). Only 57 % of the 14 activated sludge treatment systems complied with the BOD allowed value established on the national normative in 2010. Coliform faecal removal percentages were high (90 % - 100 %); although, increased density of microorganisms can cause high risk of water sources pollution. The analysis of the progress of the different excreta disposal mechanisms during 2000-2014 showed a rise in the use of septic tanks, during 2000-2011. In 2012 a low reversion was observed, and in 2014 the use of septic tank was reduced to 71,5 %.

Finally, an analysis of the enlargement of the drainage and water treatment within 11 municipalities in San José will allow to reach 22 – 25 % of the population with treated excreta disposal, and

50 – 53 % in the use of drainage. This will allow the reduction of the use of septic tanks to 50 % for 2021.

Conclusions

In accordance with the concept of 'Improved sanitation facilities', Costa Rica have reached 99 % of excreta disposal coverage due to the use of drainage, septic tanks and latrines. However, wastewater has received very little treatment (drainage and collective systems), causing great damage to the rivers within urban areas.

Recommendations

It is crucial to enlarge excreta disposal coverage, increasing drainage and wastewater treatment, in order to clean up rivers and others superficial water bodies and aquifers. A National Programme for Suitable Wastewater Manager should be implemented contemplating medium and long term goals, in order to improve public health in Costa Rica.

Cobertura de la disposición de excretas en Costa Rica periodo 2000-2014 y expectativas para el 2021

Introducción

Los seres humanos han utilizado tradicionalmente varios mecanismos para disponer sus excretas (heces y orina); el más antiguo ha sido a “cielo abierto”, es decir, su inodoro fue y es la madre naturaleza. En la época en que los seres humanos eran nómadas, hacían sus necesidades fisiológicas cerca de los árboles y ríos. Pero cuando decidieron vivir en un solo sitio, tuvieron la necesidad de deshacerse de sus excretas “tan lejos como les pidiera su nariz y tan cerca como lo exigiera su sistema digestivo” (Mora, 2005). En razón de esto surgieron cuatro mecanismos, a saber, fosas sépticas o letrinas, tanques sépticos, alcantarillado (sin tratamiento o cloacas) y alcantarillado sanitario (AS) (AyA, 2009). Estos últimos tienen en común el uso del inodoro, que se originó en Creta hace más de 4000 años. Los egipcios y los romanos también avanzaron en el uso de inodoros, mediante la utilización de baños públicos cuyo símbolo histórico es la conocida “Cloaca Máxima de Roma” (Pickover, 2012); sin embargo, fueron clausurados porque fomentaban la promiscuidad sexual, lo que provocó un retroceso en el saneamiento de las comunidades. Es así como, en el periodo comprendido entre los siglos V y XV, las calles estaban llenas de excrementos. Los humanos defecaban en las esquinas, ríos y árboles, y en el mejor de los casos usaban la bacenilla, cuyo contenido iba a parar a la calle tras el grito “¡Agua va!”. Luego, en 1589, el inglés John Hannington desarrolló el retrete de válvula, que fue instalado en el palacio de Isabel I. En 1668, el Comisionado de Paris ordenó la instalación de inodoros en todas las casas y en 1840 el Acta de Salud Pública Inglesa obligó a instalar inodoros en toda Europa (Lloppe & Tynan, 2011). En esta época se incrementaron las mejoras en los servicios de agua y alcantarillado, pero fue hasta principios del siglo XX que se fomentó la recolección de aguas residuales domésticas o excretas y el tratamiento, antes de descargarlas en un cuerpo receptor (río, quebrada o mar) (Artman & Chadwick, 2015).

En Costa Rica, las primeras obras de alcantarillado se inauguraron en 1911, y posteriormente se construyeron en las ciudades de Alajuela, Heredia y Cartago, a principios de la década de 1940 (Araya, 1992). Luego, se construyó el sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización en Cañas (1959), Guanacaste. Lamentablemente, las plantas de tratamiento del Valle Central fueron abandonadas a partir de 1963 (Mora, 1992), aumentando así la contaminación orgánica de los ríos de la Cuenca Virilla-Tárcoles (Cuenca 24). Sin embargo, gracias a un convenio entre el Gobierno y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (1972-1975),

se construyeron lagunas facultativas en las ciudades de Liberia, San Isidro de Pérez Zeledón, Nicoya y Santa Cruz, y en 2004 se inauguró el Emisario Submarino de Limón (Araya, Barboza, Ramírez & Rodríguez, 2009).

Pero aún con estas obras Costa Rica ocupa uno de los últimos lugares en el tratamiento con sistemas convencionales en América Latina (Reynolds, 2015). De acuerdo con el Programa Conjunto de Monitoreo del Fondo para la Infancia de las Naciones Unidas (UNICEF) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), con el concepto “Instrumentos de Saneamiento Mejorados”, Costa Rica ocupa uno de los primeros lugares en esta misma zona. Esto se debe a que el concepto abarca la disposición de excretas con alcantarillado sanitario, alcantarillado sin tratamiento, tanques sépticos y letrinas (UNICEF/OMS, 2006).

El Laboratorio Central del AyA, hoy Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), mediante el Decreto Ejecutivo 26066-S (Poder Ejecutivo-Costa Rica, 1997), elabora informes anuales de calidad del agua para consumo humano y disposición de excretas desde 1991 (Mora, 2009). Sin embargo, en este año, con los datos al 2014 se decidió separar ambos temas, con el propósito de brindar el peso específico que tiene el suministro de agua y la disposición adecuada de excretas (DAE) o saneamiento como determinantes de la salud pública (Baltazar & Solon, 1989; Heller, 1997). En razón de esto, el presente informe se enfoca en la evaluación y evolución de las coberturas en la DAE desde el año 2000 hasta el 2014, mediante los mecanismos de alcantarillado sanitario, alcantarillado sin tratamiento, tanques sépticos (TS) y letrinas o fosas sépticas (excusado de hueco) en Costa Rica en los últimos 15 años (2000-2014).

Objetivos

General

Determinar las coberturas y evolución de población con disposición de excretas (DE) en Costa Rica en el periodo 2000-2014, según los diferentes mecanismos de evacuación, tales como alcantarillado, tanque séptico, letrinas y otros, aunado al inventario y evaluación de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno total (DBO)(mg/L) y de Coliformes fecales (CF/100 mL), en los sistemas de tratamiento convencionales de aguas residuales a cargo del AyA, y el análisis de las expectativas en las coberturas de DE en el país para el año 2021.

Específicos

- Describir la clasificación de las infecciones relacionadas al contacto humano con excretas a nivel mundial.
- Describir el concepto de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas” (ISM) de la UNICEF y la OMS.
- Describir la cobertura de la población mediante los mecanismos de alcantarillado, tanques sépticos, letrinas y otros en el país, y su distribución por regiones en el año 2014.
- A nivel nacional, inventariar y evaluar la remoción de DBO y Coliformes fecales en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, analizadas por el LNA en 2014.
- Recopilar y analizar información comparativa de las coberturas de DE o ISM (alcantarillado, tanques sépticos, letrinas y otros), en el periodo 2000-2014 en Costa Rica).
- Establecer las expectativas de cobertura por alcantarillado, tanques sépticos y letrinas, con la implementación del proyecto “Mejoramiento Ambiental de San José, al año 2021”.

Metodología

Para cumplir con los objetivos de este estudio descriptivo se aplicaron los siguientes pasos:

Enfermedades vinculadas al contacto con las excretas

La identificación de las enfermedades vinculadas al contacto con las excretas se realizó con la Clasificación de Infecciones Relacionadas con las Excretas, descrito en el libro *Saneamiento, Educación y Salud*, de Mora (2005).

Concepto de Instalaciones de Saneamiento Mejoradas

La descripción del concepto de ISM fue definida por la UNICEF y la OMS en el documento *Progreso para la Infancia: un balance sobre Agua y Saneamiento*.

Cobertura de población según mecanismo de DE o ISM en el año 2014

Las coberturas de población, por país y regiones de planificación de Costa Rica, se obtuvieron de los datos de la Encuesta Nacional de Hogares del año 2014 (INEC, 2014).

Sistemas de tratamiento convencional de aguas residuales en Costa Rica

Se realizó un inventario de los sistemas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, a nivel nacional, con datos del AyA y el *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible* (Programa Estado de la Nación, 2013).

La identificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, cubiertas por el LNA, y la remoción de DBO y Coliformes fecales, se obtuvo del *Informe Anual de Aguas Residuales*. Para efectos prácticos, si el lector requiere analizar los otros datos de Sólidos Totales (ST), DQO (mg/L), Grasas (mg/L), Nitrógeno total (N), Fósforo total (P) y otros, los autores recomiendan utilizar el *Informe Anual de Aguas Residuales del 2014* del LNA (Ramírez & Valiente, 2015).

Análisis de la evolución de coberturas de población con disposición de excretas 2000-2014

La evolución de las coberturas de población con disposición de excretas mediante alcantarillado, TS y letrinas durante el periodo 2000-2014 se elaboró con los datos de las encuestas de hogares anuales de esos años y los censos 2000 y 2011 (INEC, 2001, 2011).

Expectativas de saneamiento para el año 2021

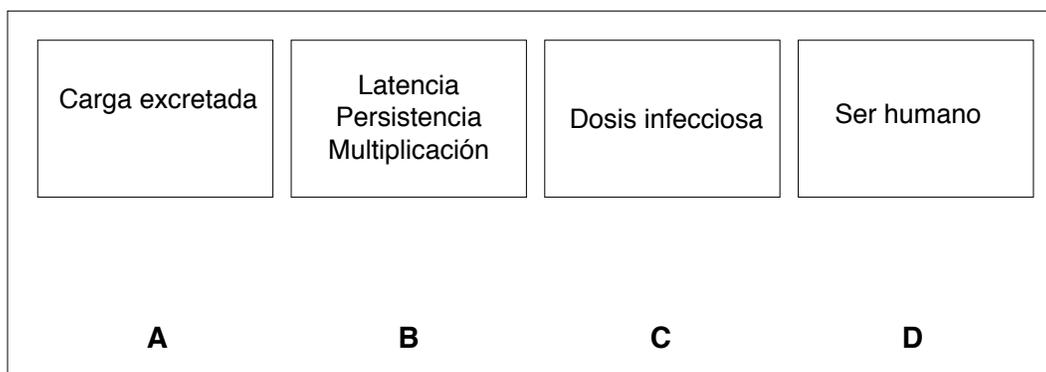
Las expectativas de DE para el año 2021 se establecieron con los siguientes documentos:

- *Proyecto de Mejoramiento Ambiental de San José* (Unidad Ejecutora AyA-JBIC, 2015; Navarro, 2015).
- *Programa Nacional de Manejo Adecuado de las Aguas Residuales* (AyA, 2009).
- *Agua para consumo humano y disposición de excretas en Costa Rica: situación actual y expectativa* (Mora, 2003).

Resultados

Enfermedades infecciosas relacionadas con el contacto con excretas

Los factores que influyen en la transmisión de enfermedades mediante el contacto con excretas se resumen en el siguiente esquema:



Fuente: *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI* (Jouravlev, A, 2004).

- La carga excretada dependerá del estado de salud de la persona y del contenido de microbios patógenos en sus heces.
- La latencia, persistencia y multiplicación se refiere al tiempo que pueden sobrevivir los microorganismos patógenos, su resistencia al ambiente y su multiplicación en la excreta o el suelo.
- La dosis infecciosa dependerá del tipo de microorganismo; por ejemplo, los virus y bacterias necesitan una mayor dosis infecciosa que los protozoarios y helmintos.
- La enfermedad en el ser humano dependerá del estado de su aparato inmunológico y de la patogeneidad del microorganismo infectante.

Cuadro 1. Clasificación ambiental de las infecciones relacionadas con las excretas

Categoría	Característica epidemiológica	Infección	Vía dominante de transmisión	Principales medidas de control
Enfermedades fecal-orales no bacterianas	No latentes, baja dosis infecciosa.	Enterobiasis, Infecciones por enterovirus, Himenolepsiasis, Amibiasis, Giardiasis, Balantidiasis	Personal, doméstica	Abastecimiento doméstico de agua, educación sanitaria, mejora de viviendas, instalación de letrinas
Enfermedades fecal-orales bacterianas	No latentes, media o alta dosis infecciosa; moderadamente persistentes, sin huésped	Fiebre, tifoidea y paratifoidea, Salmonelosis, disentería, bacilar, cólera, diarrea por E. coli, enteritis por Campylobacter	Personal, doméstica, agua, alimentos	Abastecimiento doméstico de agua, educación sanitaria, mejora de viviendas, instalación de letrinas, tratamiento de las excretas antes de la disposición o reúso
Helmintos del suelo	Latentes, persistentes, sin huésped intermediario	Ascariasis, Tricuriasis y Anquilostomiasis	Jardín, campos y agricultura	Instalación de letrinas, tratamiento de excretas antes de la aplicación en el terreno

Continúa...

Categoría	Característica epidemiológica	Infección	Vía dominante de transmisión	Principales medidas de control
Teniasis	Latentes, persistentes, con huésped intermediario	Teniasis	Jardín, campos y pastizales	Instalación de letrinas, tratamiento de excretas antes de la aplicación en el terreno, cocción, inspección de la carne
Helmintos del agua	Latentes, persistentes, con huésped intermediario	Esquistosomiasis y otras enfermedades provocadas por helmintos	Agua	Instalación de letrinas, tratamiento de excretas antes de la disposición en el agua, control del reservorio animal
Enfermedades transmitidas por insectos	Insectos vectores relacionados con las excretas	Filariasis y todas las infecciones mencionadas en las categorías 1 a 5, en donde las moscas y las cucarachas pueden ser vectores	Varios lugares contaminados por heces, en donde se reproducen los insectos	Identificación y eliminación de los lugares adecuados para la reproducción

Fuente: Feachem et al. (1983a).

Concepto de Instalaciones de Saneamiento Mejoradas (ISM)

De conformidad con las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), del Programa Conjunto de Monitoreo (PCM) de la UNICEF y la OMS, las ISM se definen de la siguiente manera:

a) Mejoradas

- Letrina de sifón con descarga.
- Una cloaca con tubería.
- Un tanque séptico.
- Letrina de pozo mejorada con ventilación.
- Letrina con pozo con loza.
- Retrete de compostaje.

b) No mejoradas

- Letrina con sifón que descarga en otra parte.
- Letrina de pozo sin losa/pozo abierto.
- Balde o cubo.
- Retrete colgante/letrina colgante.
- A cielo abierto.

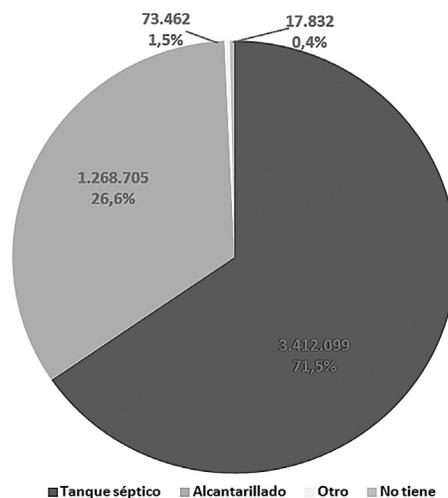
Cobertura de población con disposición de excretas

La cobertura de la población por zona urbana, rural y regiones de planificación en el año 2014 se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Costa Rica y regiones de planificación: población con servicio sanitario y tipo de disposición de excretas, 2014

Poblaciones	Conectado a tanque séptico	Conectado a alcantarillado o cloaca	Letrina y otros	No tienen
Total 4.772.098	3.412.099 (71,5%)	1.268.705 (26,6%)	73.462 (1,5%)	17.832 (0,4%)
Zona				
Urbana: 3.469.802	2.269.324 (65,4%)	1.175.479 (51,8%)	13.653 (0,4%)	11.346 (0,32%)
Rural : 1.302.296	1.142.775 (87,75)	93.226 (7,2%)	58.809 (5,14%)	6.486 (0,50%)
Región				
Central: 2.975.481	1.912.640 (64,3%)	1.041.467 (35%)	13.235 (0,46%)	8.139 (0,27%)
Chorotega: 359.371	301.137 (83,8%)	39.307 (10,9%)	17.552 (4,8%)	1.375 (0,4%)
P. Central: 275.483	214.698 (78,2%)	56.545 (20,6%)	3.658 (1,3%)	552 (0,2%)
Brunca: 356.519	317.730 (87,4%)	33.485 (9,4%)	10.365 (2,9%)	939 (0,26%)
H. Atlántica: 428.133	341.101 (79,8%)	69.258 (16,2%)	14.194 (3,3%)	3.580 (0,84%)
H. Norte:377.111	330.793 (87,6%)	28.643 (7,6%)	14.458 (3,8%)	3.217 (0,85%)

Fuente: Encuesta de Hogares 2014 y LNA.



Inventario de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Se presenta el inventario del LNA, mediante el Área de Aguas Residuales, con los siguientes sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticos:

Cuadro 3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales operados por el AyA

Sistemas periféricos de tratamiento de aguas residuales del AyA				
Lugar	Año de construcción	Características	Tipo	Cumple el decreto 33601-MINAE-S
Liberia	1974	Remodelada en 2011	Laguna facultativa	No
Cañas	1974	Separa aguas pluviales de residuales	Laguna facultativa	No
Nicoya	1974	En estudio	Laguna facultativa	No
Santa Cruz	1974	Con capacidad para recibir más agua	Laguna facultativa	Sí
San Isidro de Pérez Zeledón	1974	Dos plantas	Laguna facultativa	No
Boruca, Buenos Aires de Puntarenas	1980	Donada por Pindeco	Laguna facultativa	No
El Roble, Puntarenas	1974	La más grande del país	Lodos convencionales	No
Limón	2005	Con capacidad para cinco veces lo actual	Emisario submarino	Sí
Los Reyes, Alajuela	2005		Lodos activados	Sí
El Coyol, Alajuela			FAFA ¹	Sí
Santa Cecilia Puriscal		Filtro anaerobio*	RAFA ²	Sí
Bosques de Santa Ana	2000		RAFA	No
Bulevar Las Palmas	2003		Lodos activados con aireación ext.	Sí
Rincón Verde II	2001	Mejora al sistema electromecánico y sedimentador 2011-2012	Lodos activados aireación ext.	Sí
Monte Lindo	2003			Sí
André Chalé	2000	Rehabilitación del sistema 2011		Sí
Villa Verano de Alajuela				Sí
Lomas Pindeco				Sí
Lomas de Zurquí				No
Santa Isabel de Heredia	2010			No
Don Edwin-Guápiles				Sí

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas (2014).

1 FAFA: filtro anaerobio de flujo ascendente.

2 RAFA: reactor anaerobio de flujo ascendente.

*Santa Cecilia de Puriscal tiene un filtro biológico al final del tratamiento.

Cuadro 3A. Sistemas de tratamiento de aguas residuales operados por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH)

Sistemas operados por la ESPH				
Lugar	Año de construcción	Características	Tipo	Cumple el decreto 33601-MINAE-S
Los Lagos	1975	Carrusel	Lodos activados	Sí
La Aurora	1977	Remodelada	Lodos activados	Sí
Real Santamaría Este	2003	Remodelada	Lodos activados aireación ext.	Sí
Real Santamaría Oeste	2003		Lodos activados aireación ext.	Sí
Las Flores	1999	Utiliza lirios	Laguna de oxidación	No

Fuente: ESPH (2013).

Cuadro 3B. Sistemas de tratamiento operados por municipalidades y ASADAS

Lugar	Cantidad	Tipo
M. Belén	4	Anaerobias
M. Alajuela	10	Aerobi/anae
M. Flores	1	Aerobia
M. Cartago	5	Aerob/anae
M. Escazú	2	ND
A Lomas de Zurquí	1	Aerobia
A Paso de las Garzas	1	Aerobia
A Orosi, Cartago	1	Anaerobia
A Herediana, Siquirres	1	Aerobia
A Venecia Matina	1	Aerobia
A Cariblanco, Sarapiquí	1	Aerobia
A Horquetas, Sarapiquí	1	Anaerobia
A Limón 2000	1	Laguna est.
A Mora de Turrialba	1	Anaerobia
A Carmen Lyra, Turrialba	1	Anaerobia

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Focard-APS (Ruiz, 2012).

En total, el número de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticos en funcionamiento es de 58.

Remoción de DBO total y coliformes fecales en los sistemas de tratamiento

En el cuadro 3 se presenta la remoción de DBO total (mg/L) y CF/100 mL, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticos operados por el AyA, en el periodo 2014.

Cuadro 4. Remoción de DBO total y Coliformes fecales en los sistemas de tratamiento operados por el AyA

Variables	Tipos de agua	Laguna Cañas	Laguna Liberia	Laguna Santa Cruz	Laguna Nicoya	Laguna Pérez Zeledón
DBO mg/L	Cruda	278	135	261	284	303
	Tratada	91	58	86	100	77
	% eficiencia	67%	57%	67%	65%	75%
Coliformes fecales 100mL	Cruda	56.362.604	41.968.360	9.110.785	13.684.248	13.379.234
	Tratada	67.585	229.638	155.483	1.282.430	304.510
	% eficiencia	100%	99%	98%	91%	98%
Variables	Tipos de agua	Sistema tratamiento El Roble de Puntarenas	Sistema tratamiento Bosques de Santa Ana	Sistema tratamiento Monte Lindo	Sistema tratamiento Rincón Verde	Sistema tratamiento André Chalé
DBO mg/L	Cruda	298	256	252	252	334
	Tratada	195	123	40*	22*	24*
	% eficiencia	35%	52%	84%	91%	93%
Coliformes fecales 100mL	Cruda	19.535.840	19.715.268	2.171.263	4.074.151	58.029.961
	Tratada	56.651.624	5.852.605	395.654	258.854	97.196
	% eficiencia	-190%	70%	82%	94%	100%
Variables	Tipos de agua	Sistema tratamiento Las Palmas Ciudad Colón	Sistema tratamiento Hacienda Los Reyes	Sistema tratamiento Villa Verano Alajuela	Sistema tratamiento Santa Cecilia Puriscal	Sistema tratamiento Boruca Buenos Aires
DBO mg/L	Cruda	199	166	176	360	321
	Tratada	23*	99	35*	86	103
	% eficiencia	88%	40%	65%	76%	68%
Coliformes fecales 100mL	Cruda	7.835.375	12.157.895	12.128.477	22.650.773	10.074.242
	Tratada	157.830	242.378	981.870	5.832.753	1.354.287
	% eficiencia	98%	80%	92%	74%	87%
Variables	Tipos de agua	Sistema tratamiento Lomas de Pindeco	Sistema tratamiento Lomas de Zurquí	Sistema tratamiento Santa Isabel Heredia	Sistema tratamiento Don Edwin Guápiles	----
DBO mg/L	Cruda	212	269	377	365	----
	Tratada	42*	81	57	30*	----
	%Eficiencia	80%	70%	85%	92%	----
Coliformes fecales 100mL	Cruda	18.342.218	8.958.243	13.000.000	32.832.910	----
	Tratada	16.773	3.124.127	2.400.000	269.444	----
	% eficiencia	100%	65%	82%	99%	----

Fuente: Área de Aguas Residuales-LNA.

Nota: *Cumple con la normativa de Costa Rica.

Cuadro 5. Caracterización de la calidad del agua marina en sitios cercanos a la descarga del emisario submarino - Limón. Sitio del desfogue del emisor submarino a tres profundidades diferentes. Muestra de agua compuesta integrada a partir de tres submuestras: fondo, medio y superficie.

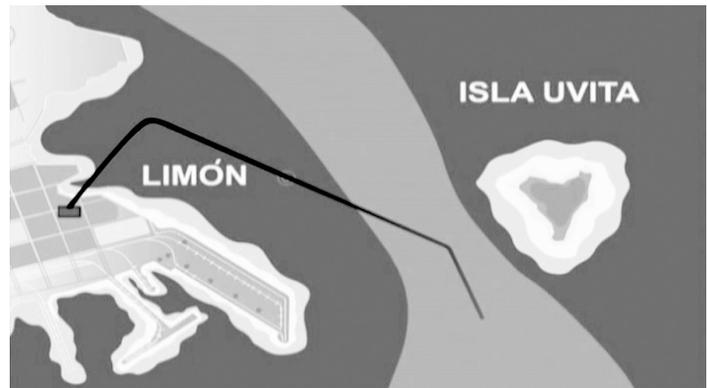
	12-feb.-14	30-jul.-14	25-set.-14	11-nov.-14
PARÁMETRO				
Material flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Aspecto del agua	Clara	Oscura	Clara	Clara
Estado del tiempo	Soleado	Fresco	Soleado	Soleado
Hora de recolección	15:00	14:40	14:40	14:00
Temperatura ambiente, ° C	32,0	29,0	31,0	32,0
Temperatura agua, °C	28,5	28,2	29,7	29,6
Amonio, mg/L	0,11	0,20	0,12	0,29
COT, mg/L			4,34	
Color verdadero, U Pt/Co		31	9,0	3,0
Conductividad, US/cm	52400	51100	50300	51400
DBO Total,mg/L	3,0	3,0	1,7	1,9
DQO Total,mg/L	98	91	131	98
DQO Soluble,mg/L	44	80	117	91
Fósforo, mg/L	0,0	0,03	0,03	0,03
Nitratos, mg/L	1,0	6,3	1,3	6,5
Nitróg. Am., mg/L	0,10	0,16	0,09	0,22
Oxígeno disuelto real, mg/L	8,4	7,5	7,6	7,3
Oxígeno disuelto teórico, mg/L	7,83	7,83	7,56	7,56
Porcentaje Sat. de Oxígeno Dis.	107	96	101	97
pH	7,35	8,10	8,16	8,03
S. T. T, mg/L	43011	41273	47721	40710
S. S. T, mg/L	20	36	21	12
S. D. T, mg/L	42991	41237	47700	40698
S. S. S. mL/L/hr	0	0	0	0
Turbiedad, UNT		26	17	7,0
S.A.A.M., mg/L	0,260	0,200	0,043	0,170
Altura Secchi, metros				
Coliformes fecales, NMP/100mL	0	170		
Enterococos NMP/100mL	0	33		
CLASIFICACIÓN	1	1	1	1
SUMA DE PUNTOS	3	3	3	3
CÓDIGO DE COLOR	Azul	Azul	Azul	Azul

Continúa...

	12-feb.-14	30-jul.-14	25-set.-14	11-nov.-14
PARÁMETRO				
INTERPRETACIÓN DE CALIDAD	Sin	Sin	Sin	Sin
	contaminación	contaminación	contaminación	contaminación

Fuente: LNA: José Miguel Ramírez y Carmen Valiente.

Esquema del Emisario Submarino en Limón



Observaciones

Muestreo compuesto. Muestra integrada por volúmenes iguales de 1 litro, para un volumen final de 3 litros de muestra compuesta. El agua fue recolectada en el fondo a 17 m; en la parte media a 9 m y en la superficie a 10-15 cm y luego se mezcló.

Análisis comparativo o evolución de las coberturas de disposición de excretas en Costa Rica

En el siguiente gráfico se presenta el análisis comparativo o evolución de las coberturas, según el tipo de disposición de excretas en Costa Rica, periodo 2000-2014.

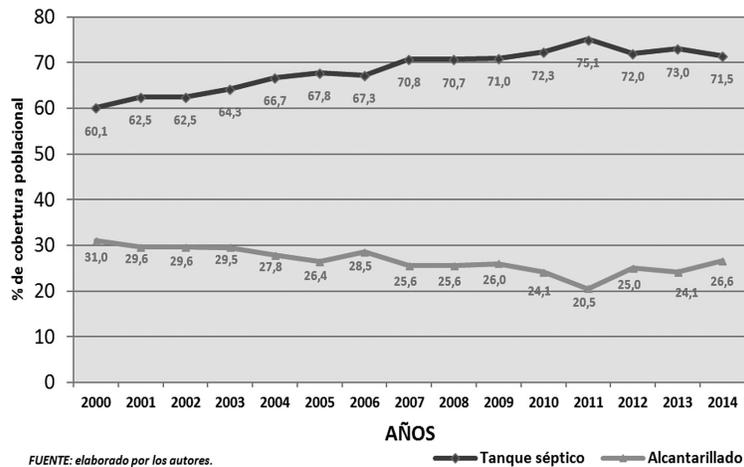


Figura 2. Análisis comparativo del uso de alcantarillado y tanques sépticos en Costa Rica: periodo 2000-2014

Expectativas de saneamiento para el año 2021

El Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana fue aprobado mediante la Ley 8559, con un préstamo del Banco Japonés para la Cooperación Internacional (JBIC). En marzo de 2007 se estableció la Unidad Ejecutora AyA-JBIC con su equipo profesional, para entender el problema de saneamiento urbano en 11 cantones de San José. El costo de la obra para la Etapa 1 asciende a US\$345 millones.

Con este proyecto, se estima que como resultado de la rehabilitación y extensión del alcantarillado sanitario y la construcción de la Planta de Tratamiento de Los Tajos, la población cubierta pasará de un 45% (700.000 habitantes) a un 65% (1.070.000 habitantes), lo que indica que a nivel nacional las aguas de alcantarillado sin tratamiento disminuirán de 20,1% a 0,5%. Por el contrario, las aguas residuales con tratamiento, por medio de la nueva planta, pasarán de 4,5% a 26,8%. Este proyecto deberá estar terminado en su primera etapa en el año 2018, y uno de sus principales objetivos es “sanear” la cuenca Virilla-Tárcoles (Contraloría General de la República, 2011). No obstante, el proyecto no contempla la disminución de los desechos sólidos, los cuales, junto con las aguas residuales, son las principales causas del deterioro de esta cuenca.

En razón de esto, el Programa Bandera Azul Ecológica (Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica, 2013) ha establecido el proyecto denominado “Disminución de los Desechos de la Cuenca Virilla-Tárcoles: 2013-2000” (Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica, 2012), con el propósito de hacer una transformación cultural para educar a la población y así erradicar la costumbre de depositar los desechos sólidos en los cauces de los ríos que conforman esta cuenca.

Analisis de resultados

Para efectos prácticos, el análisis de los resultados se realiza en el mismo orden de aparición de los objetivos específicos.

Infecciones e infestaciones relacionados con las excretas

A través de la historia de la humanidad, el contacto con las excretas, o material fecal, ha sido la principal fuente de contagio de enfermedades infecciosas. Los factores involucrados con la transmisión de las diferentes patologías son la carga de excretas, la latencia, persistencia y multiplicación de los virus, bacterias, protozoarios y otros tipos de parásitos como los helmintos; además, depende de la dosis infecciosa y de las costumbres y fortaleza del aparato inmunológico de cada ser humano. Lógicamente, estos mismos aspectos participan en la transmisión de enfermedades entre los animales, el ser humano y los animales y viceversa.

En la transmisión de estas enfermedades vinculadas con las excretas entran en juego varios mecanismos de propagación, como el fecal-oral, el hídrico, el contacto con el suelo y con insectos. En razón del impacto de estas enfermedades infecciosas en el desarrollo de la humanidad, el manejo, tratamiento y disposición adecuada de las excretas ha sido un determinante esencial de la salud pública en las diferentes culturas del mundo, y sin lugar a dudas lo es o será en otros seres vivientes del planeta.

Mecanismos de disposición de excretas

La UNICEF y la OMS, con el propósito de medir los avances de los ODM en los diferentes países del mundo, estableció el concepto de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas”, brindando el mismo peso a la disposición de las excretas, o aguas residuales domésticas, por alcantarillado con tratamiento, alcantarillado sin tratamiento o cloacas, tanques sépticos y los diferentes

tipos de letrinas (de pozo mejorada con ventilación, con loza y al retrete de compostaje). Evidentemente, estos mecanismos permiten alejar la materia fecal de los hogares o viviendas, pero son muy desiguales para medir el desarrollo de los pueblos o las naciones.

Cobertura de la población con disposición de excretas

Los resultados de las coberturas por regiones de planificación, zona urbana o rural y la totalidad del país en saneamiento o DE, resumidos en el Cuadro 2, indican que:

- De los 4.772.098 habitantes de Costa Rica, en el año 2014, 3.412.099 tenían tanque séptico para disponer o tratar sus aguas residuales domésticas, lo que equivale al 71,5%. Además 1.268.705 personas evacuaron sus excretas por medio de alcantarillado sanitario o cloacas, para un 26,6%. Un 1,5% de la población utilizó letrinas o excusado de hueco (73.462 habitantes) y 17.832 habitantes no contaban con ninguno de estos tres mecanismos, es decir, el 0,4% utiliza el antiguo mecanismo de disponer sus excretas a cielo abierto. Estos datos se visualizan en la Figura 1, mediante un gráfico de pastel.
- En el área urbana, el 65,4% usaba tanque séptico, en comparación con el 87,5% en el área rural; con respecto al uso de alcantarillado, el 51,8% se concentra en el área rural. El uso de letrinas se ubica en un 5,14% en el área rural y un 0,4% en la urbana. En el caso de la población que no tiene ningún servicio sanitario, llama la atención que 11.364 personas del área urbana (0,32%) no cuentan con mecanismos adecuados de DE, contra 6.486 personas (0,50%) en el área rural.
- La distribución de estos mecanismos de DE, en las seis regiones de planificación del país, demuestra que:
 - La Región Central es la que presenta más uso de alcantarillado o cloacas, con un 35%. Además, como es lógico, utiliza menos el tanque séptico, para un 64,3%.
 - Las regiones con más uso de tanque séptico son la Huetar Norte y la Brunca, con 87,6% y 87,4%, respectivamente. Estas mismas regiones son también las que más utilizan el mecanismo “Cielo abierto”, con 0,85% y 0,84%, respectivamente.
 - Si aplicamos el concepto de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas” de la UNICEF y la OMS, paradójicamente Costa Rica se muestra como un país de avanzada en saneamiento, con un total estimado de 4.754.266 habitantes, o el 99,6% con DE por alcantarillado, tanques sépticos o letrinas.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales en Costa Rica

Inventario de sistemas convencionales

El LNA ha inventariado la eficiencia de seis lagunas de estabilización en Cañas, Liberia, Santa Cruz, Nicoya, Pérez Zeledón y Las Flores de Heredia, pertenecientes a AyA y la ESPH; además, 18 plantas de tratamiento, en su mayoría de lodos activados. Mención aparte merece la identificación y evaluación del único emisario submarino de Centroamérica, ubicado en la ciudad de Limón, inaugurado el 31 de octubre de 2004, con un costo total de US\$3.969.452,59. Por otro lado, aunque muchas personas no lo identifican como un sistema de tratamiento, los tanques sépticos usados por el 71,5% de la población son un sistema de tratamiento primario con una remoción de entre 30% y 40% de materia orgánica. Además, otros entes operadores, como los municipios y ASADAS tienen a su cargo 32 plantas de tratamiento.

Eficiencia de la remoción de materia orgánica de los sistemas de tratamiento inventariados y evaluados

Lagunas de estabilización del AyA

Los análisis y resultados promedios de las cinco lagunas de estabilización, cuatro de ellas ubicadas en Guanacaste y una en Pérez Zeledón, utilizando solo dos parámetros del Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales (Poder Ejecutivo, Costa Rica, 2007), Demanda Bioquímica de Oxígeno Total (BDO mg/L) y el número más probable de Coliformes fecales/100 mL (CF/100 mL) demuestran que:

- Ninguna laguna de estabilización, excepto Santa Cruz cumple con el valor máximo permitido de 50 mg/L, oscilando entre 58 mg/L en Liberia y 100 mg/L de DBO total en Nicoya. Con respecto a la remoción de CF/100 mL, entre el agua cruda y tratada, los datos promedios van del 91% al 100%. Sin embargo, el efluente que menos descarga CF/100 mL al cuerpo receptor es la laguna de Cañas, con 67.585 de promedio de CF/100 mL, y la que más descarga es la laguna de Nicoya, con un promedio de 1.282.430 CF/100 mL.
- En el caso de los sistemas de tratamiento convencional de los otros 18 sistemas evaluados, los resultados promedio de DBO total en el agua tratada indican que 14 cumplen con el valor máximo permitido de 50 mg/L de DBO total. Dichos sistemas son Los Reyes, El Coyoil y Villa Verano de Alajuela, Santa Cecilia de Puriscal, Boulevard Las Palamas, Rincón Verde II, Monte Lindo, André Chalé, Lomas de Pindeco, Don Edwin de Guápiles, Los Lagos, La Aurora, Real Santamaría Este y Real Santamaría Oeste de Heredia.

Con respecto a la descarga de CF/100 mL en las aguas tratadas, es importante anotar lo siguiente:

- a) La planta de El Roble de Puntarenas tiene un promedio de CF/100 mL de 56.651.624/100 mL en la descarga que va al estero de Puntarenas, con un porcentaje de eficiencia de -190%; es decir, tiene mucho más contaminación fecal el efluente que la entrada de agua cruda de la planta.
- b) Las plantas que menos descargan CF/100 mL son Lomas de Pindeco, con 100% de remoción con 16.773 CF/100 mL; André Chalé, con 100% de remoción con 97.196 CF/100 mL; las Palmas (98% de eficiencia) y 157.830 CF/100 mL; Don Edwin, con un promedio de CF/100 mL de 259.444 y Hacienda Los Reyes, con 242.379 CF/100 mL. Las restantes plantas descargan entre 981.870 CF/100 mL a 56.651.624 CF/100 mL.
- c) En el caso de la eficiencia del Emisario Submarino de Limón, se observa una gran disminución en los 32 parámetros estudiados (ver cuadro 4).

Con respecto a los sistemas de tratamiento a cargo de otros entes operadores, cuatro de los cinco sistemas a cargo de la ESPH funcionaban adecuadamente en el año 2012. No se conoce la eficiencia de los sistemas a cargo de los municipios y ASADAS.

Evolución de las coberturas de disposición de excretas: 2000-2014

El saneamiento o disposición adecuada de excretas mediante alcantarillado y tanques sépticos en el periodo 2000-2014 en Costa Rica se ha fundamentado en el uso de tanques sépticos, evolucionando de un 60,1% en el año 2000 a 75,1% en 2011, para luego bajar levemente al 71,5% en 2014. Por otro lado, el uso de alcantarillado o cloaca alcanzó el 31,0% en el año 2000, para disminuir a 20,5% en el 2011 y aumentar nuevamente a 26,6% en el 2014. Este

comportamiento se fundamenta en la implementación de pequeños sistemas de tratamiento en el Valle Central, la Región Brunca y Guápiles y algunas urbanizaciones.

Expectativas de saneamiento hacia el año 2021 en Costa Rica

El Proyecto de Mejoramiento Ambiental de San José tiene como propósito “mejorar” la salud ambiental de 11 cantones del Área Metropolitana, mediante la rehabilitación de aproximadamente 400 km de construcción de alcantarillado sanitario, y de una planta de tratamiento de lodos activados denominada “Los Tajos”, que estará ubicada en La Uruca. La ejecución de la Etapa 1 de este proyecto permitirá aumentar de 22% a 28% en el tratamiento colectivo de aguas residuales en el año 2019. Por otro lado, con este y otros proyectos menores de alcantarillado sanitario en algunas zonas costeras (Jacó, Limón, Cieneguita y Puntarenas), se estima que la cobertura de la población con alcantarillado podría incrementarse al 53%, mientras que el uso de tanques sépticos disminuiría de 71,5% en 2014 a 48% en 2021.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos en las coberturas de DE en el año 2014, el análisis de la evolución en los últimos 15 años y las expectativas al año 2021 nos permiten hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

El uso del servicio sanitario y la disposición adecuada de excretas, aunado a la higiene y el lavado de manos, evitan la transmisión de enfermedades infecciosas vinculadas al contacto con excretas.

La UNICEF y la OMS, con el objetivo de medir los avances de los países en la Meta 7b de los ODM (1990-2015), establecieron el concepto de “Instalaciones de Saneamiento Mejoradas”, en donde equivocadamente le dan el mismo peso al uso de alcantarillado con tratamiento, alcantarillado sin tratamiento o cloacas, al tanque séptico y a las letrinas. Esto impide medir el verdadero avance en el tratamiento y la adecuada DE en las naciones del mundo.

Los datos aportados por la Encuesta de Hogares del INEC indican que de 4.772.098 habitantes, 3.412.099 utilizaron el tanque séptico en el año 2014 (71,5%), 1.268.705 usaron alcantarillado (26,6%), 1,5% utilizan letrinas y 17.832 habitantes no tenían servicio sanitario o utilizaron la DE a cielo abierto.

El tanque séptico presentó mayor cobertura en la población rural (87,5%), con respecto a la urbana (65,4%). Las regiones con mayor uso de tanque séptico son la Huetar y la Brunca, con 87,6% y 87,4%, respectivamente; estas mismas regiones son también las más que más usan el mecanismo a cielo abierto, con 0,85% y 0,84%, respectivamente.

El inventario de los sistemas de tratamiento controlados por el AyA suma 21, de los cuales cinco son lagunas de estabilización, 15 plantas de tratamiento y el emisario submarino ubicado en la ciudad de Limón, además de los que son operados por la EPSH y las municipalidades y ASADAS, para un total de 58 sistemas.

Del total de sistemas de tratamiento evaluados por el LNA, cinco lagunas no cumplen con el Reglamento de Vertidos y Reúso de Aguas Residuales,⁽²⁴⁾ al menos en el parámetro de DBO total de 50 mg/L en la salida de las plantas. En cuanto al tratamiento convencional, 10 de las 14 plantas (71%) cumplen con la legislación vigente. El emisario submarino ha sido muy eficiente en la remoción de la materia orgánica y los CF/100 mL en su zona de influencia. Los datos de la ESPH indican que cuatro de los sistemas cumplen con la reglamentación. Con respecto a los

32 sistemas a cargo de los municipios y las ASADAS, no se tienen datos de sus eficiencias de remoción de materia orgánica e inorgánica.

La evolución de las coberturas de DE en el periodo 2000-2014 demuestra un favorecimiento de los tanques sépticos de entre 69% y 71,5%, alcanzando su uso máximo en 2011 con el 75,1%. El uso de alcantarillado ha oscilado entre 31,0% y 26,6% en el periodo 2000-2014.

El análisis de la expectativa de los proyectos de alcantarillado sanitario con tratamiento para los años 2015 a 2021 permite estimar que el país podría alcanzar entre un 22% a 28% de tratamiento de las aguas residuales para 2019, siempre y cuando se concluya la Etapa 1 del Proyecto de Mejoramiento Ambiental de San José, que se encuentra en ejecución. Junto a esto, la construcción de otros proyectos en zonas costeras permitiría alcanzar un 53% de cobertura de DE por alcantarillado y una disminución de la cobertura de la población con tanque séptico al 48% en el año 2021.

Recomendaciones

El AyA, la ESPH y las 81 municipalidades del país deben trabajar en la transformación cultural de la población, para erradicar la mala costumbre de depositar todos los desechos sólidos en las cuencas de los ríos. De no ser así, por ejemplo, el esfuerzo del proyecto de mejoramiento ambiental de San José, con la rehabilitación del alcantarillado y la planta de tratamiento de lodos activados, se verá opacado, debido a la presencia permanente de basura o todo tipo de desechos.

Además de la recomendación anterior, se debe fortalecer el proyecto de reducción de los desechos en la cuenca Virilla-Tárcoles, promovida por el Programa Bandera Azul Ecológica, para el periodo 2013-2100.

El AyA, como entidad rectora en agua potable y saneamiento, debe actualizar y poner en práctica el Programa Nacional de Manejo Adecuado de las Aguas Residuales, con sus ocho componentes, distribuidos en subprogramas, proyectos, acciones y metas.

El AyA, el Ministerio de Salud y otras entidades de gobierno deben concretizar la política de saneamiento para los próximos años.

Bibliografía

- Araya, Á.; Barboza, R.; Ramírez, W; Rodríguez, A. (2009). *Informe técnico sobre la inspección tramo fecal del Emisario de Limón*. San José, Costa Rica; Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Araya, D.; Araya, Á.; Trejos, S. (2003). *Estudio sobre la situación de las Aguas Residuales de tipo ordinario en Costa Rica*. San José, Costa Rica; OPS/OMS y AyA.
- Artman, K; Chadwick, E. (2015). *Cholera and the Thames*. Disponible en: www.choleraandthethames.co.uk>Edwin
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2009). *Programa Nacional de Manejo Adecuado de Aguas Residuales*. San José, Costa Rica; AyA.
- Baltazar, J; Solon, F. (1989). *Disposal of faeces o children under two years old and diarrhea*. Heller, L. (1997). Tomado de: Saneamiento y Salud. (1997). Brasil: Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Organización Mundial de la Salud (OMS). 18 (4) (supp.2), 16-19.
- Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. (2012). *Proyecto de Disminución de los Desechos en la Cuenca Virilla-Tárcoles*. Laboratorio Nacional de Aguas. Tres Ríos, La Unión, Cartago, Costa Rica.
- Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica. (2013). *Plan Estratégico 2013-2017*. Garabito, Puntarenas, Costa Rica.
- Contraloría General de la República. (2011). *DFOE-AE-IF-10. Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José, Costa Rica*. Disponible en www.asamblea.go.cr>DFOE-AE-IF-10...



- Heller, L. (1997). *Saneamiento y Salud*. (1997). Brasil: Organización Panamericana de la Salud (OPS)/Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2001). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2000*. Disponible en [es.m.wikipedia.org>wiki>censo_costar](http://es.m.wikipedia.org/wiki/censo_costar)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2012). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2011*. San José, Costa Rica. Disponible en [es.m.wikipedia.org>wiki>censo_costar](http://es.m.wikipedia.org/wiki/censo_costar)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2014). *Encuesta Nacional de Hogares 2013*. San José, Costa Rica; INEC.
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Documento en línea: <http://google.co.cr/bitstream/handle/11362>. Santiago de Chile; Naciones Unidas/CEPAL; junio, 2004.
- Llopie, P.; Tynan, N. (2011). *La historia del Saneamiento*. Disponible en www.ungarbi-eu...>Drenaje Sostenible.
- Mora, D. (1992). *Evolución y Expectativas de la contaminación de la cuenca Virilla-Tárcoles*. *Revista Costarricense de Salud Pública*, (2), 18-23.
- Mora, D. (2003). *Agua para Consumo Humano y disposición de Excretas en Costa Rica: situación actual y expectativa*. *Tecnología en Marcha*, 16(3), 61-76.
- Mora, D. (2005). *Saneamiento, Educación y Salud*. San José: Editorama.
- Mora, D. (2009). *Situación actual del agua para consumo humano y aguas residuales en Costa Rica- 1991*. *Revista Biocenosis*, 2, 74-80.
- Unidad Ejecutora AyA JBIC y Navarro, J. (2015). *Panorama del Proyecto Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José*. Disponible en Busde.plaho.org>aya>navarro. San José, Costa Rica.
- Pickover, C. (2012). *El Libro de la Medicina*. Madrid: Ilus Books. S.L. ISBN 978-90 8998-209-3.
- Poder Ejecutivo, Costa Rica. (1997). Designación del Laboratorio Central de AyA como Laboratorio Nacional de Aguas. *La Gaceta* N°100. Decreto Ejecutivo 26066-S.
- Poder Ejecutivo, Costa Rica. (2007). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. *La Gaceta* N°55. Decreto Ejecutivo N°33601 Minae-S.
- Programa Estado de La Nación. (2013). 19 *Informe Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Costra Rica; Programa Estado de la Nación.
- Ramírez, J. & Valiente, C. (2015). *Informe Anual de Aguas Residuales*. Laboratorio Nacional de Aguas. Tres Ríos, La Unión, Cartago.
- Reynolds, K. (2015). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica*. Disponible en www.agualatinoamerica.com
- Ruiz, F. (2012). *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica. Situación y Perspectiva*. San José: FOCARDS y Cooperación COSUDE.
- Fondo de las Naciones Unidas par la Infancia (UNICEF)/Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006). *Progreso para la Infancia: un balance sobre agua y saneamiento*. New York, USA.
- Unidad Ejecutora AyA-JBIC. (2015). *Proyecto de mejoramiento ambiental del Área Metropolitana tiene 10% de avance*. San José: Noticias Teletica Canal 7. Disponible en www.teletica.com>noticias.

Effects of Power Distance Diversity within Workgroups on Work Role Performance and Organizational Citizenship Behavior

Raquel Durán-Brizuela¹, Grettel Brenes-Leiva², Martín Solís-Salazar³,
Federico Torres-Carballo⁴

Fecha de recepción: 1 de julio del 2015
Fecha de aprobación: 11 de noviembre del 2015

Durán-Brizuela, R. Effects of Power Distance Diversity within Workgroups on Work Role Performance and Organizational Citizenship Behavior. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 63-76.

- 1 Administradora de Empresas. Escuela de Administración de Empresas, Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: (506) 25509255. Correo electrónico: rduran@tec.ac.cr.
- 2 Doctora en Dirección de Empresas. Escuela de Administración de Empresas, Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: gbrenes@itcr.ac.cr.
- 3 Máster. Escuela de Administración de Empresas, Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: (506) 83234483. Correo electrónico: martin12cr@yahoo.com.
- 4 Doctor en Dirección de Empresas. Escuela de Administración de Empresas. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: (506) 25509255. Correo electrónico: fetorres@tec.ac.cr

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effect of power distance diversity within workgroups, from the perspectives of work role performance and organizational citizenship behavior. A sample of 251 employees, from a multinational company's subsidiary, was analyzed to determine the existence of relationships between power distance diversity, work role performance and organizational citizenship behavior. Results indicated two main findings. First, the most power distance diverse workgroups had a negative effect on the work role performance of the employees. Secondly, the most power distance diverse workgroups negatively influenced two dimensions of organizational citizenship behavior: altruism and civic virtue. In addition to the previous main findings, it was concluded that power distance had a negative impact within the workgroups of the organization that was studied. The development of this research made a significant contribution to the innovative research field of cultural dimensions' relationship with the performance and the behavior of the employees. Additionally, this research is among the first to study the effects of power distance on the work role performance and the organizational citizenship behavior of employees.

Keywords

Power distance – Workgroups - Workgroup diversity – Performance - Organizational citizenship behavior

Introduction

Research evidence proves that workgroups are vital for the organizations in order to achieve goals and increase effectiveness and productivity within the whole organization elements, processes, and outcomes. Workgroups may be composed by employees that have several different cultural characteristics; such diversity within the workgroup might have positive or negative effects on the performance and the behaviors shown by the employees. Some researchers have noted that there is a need for investigating the effects of the diversity of cultural values on people's actions and behaviors (Van Knippenberg & Schippers, 2007; Shore, Chung-Herrera, Dean, Ehrhart, Jung, Randel & Singh, 2009). Specifically, the power distance cultural dimension has been proved to affect workgroups' processes and performances (Paulus, Bichelmeyer, Malopinsky, Pereira & Rastogi, 2005); besides, the employees' extent of power distance –short or large– might have an impact on the possible demonstration of organizational citizenship behavior (Paine & Organ, 2000).

Based on a quantitative study, the research analyzes the effect that the diversity of the power distance cultural dimension might have on the organizational citizenship behavior and the work role performance of employees. The research intends to be an innovative work in the research field of cultural dimensions in relation to the employees' performance and behavior; this may lead to the development and the conduction of new researches in the future.

Literature Review

Diversity and Workgroups

Organizations are increasingly trusting workgroups to develop answers and solutions in order to maintain the organization success (Kozlowski & Bell, 2003; Ilgen, 1999, West, Borrill, & Unsworth, 1998, in Sonnentag & Frese, 2005). Furthermore, Diez (2006) affirmed that, in the organizational context, groups have increased their significance since the 20th century's middle. Then, what can

be understood by group? According to Kozlowski & Ilgen's review in 2006, a team –or group– is defined as the association of at least two people that socially interact, have common objectives, and develop different relevant roles and responsibilities.

Moreland (1999) said that organizations are developing workgroups to improve productivity through the handling of work that once was done by several individuals. Research evidence found by the author suggests that they are accomplishing it, yet from time to time workgroups lack of succeed; that lower performance might be solved by changing the composition of the workgroup, regarding individual and demographic characteristics, abilities, and opinions, among others. However, those changes concerning the workgroup's variability –whether it is incorporating more diversity or reducing it– have to be carefully managed, in order to avoid struggles between the workgroup's members and keep them away from negatively influence the performance (Moreland, 1999).

Diversity, heterogeneity, or dissimilarity, has attracted much attention in the late century; it is a very complex concept since it refers to all differences and inclusions, so there is not a common opinion on what kind of differences should be given more emphasis regarding to workplaces (Konrad, Prasad & Pringle, 2006). Workgroups have developed a higher degree of diversity throughout the years, and in following years they are going to become even more diverse (Triandis et al., 1994; Williams & O'Reilly, 1998; Jackson et al., 2003, in Van Knippenberg & Schippers, 2007). Van Knippenberg & Schippers (2007) affirmed that nowadays organizations are introducing more diversity into workgroups, by incorporating many different backgrounds within the workgroups, considering that “work group diversity, [is] the degree to which there are differences between group members [that] may affect group process and performance positively as well as negatively” (p.515).

Within an organization, people that differ from the majority are more susceptible to depart, to feel unsatisfied and less psychologically committed (Moch, 1980; Williams & O'Reilly, 1998, in Shore, Chung-Herrera, Dean, Ehrhart, Jung, Randel, & Singh, 2009). Williams & O'Reilly (1998) agreed with that by mentioning that individuals that are less like the group majority and might propose a different point of view, are also the individuals more likely to end up being excluded and confined.

In contrast, Shore et al. (2009) declared that “[racial/ethnic] diversity creates value and benefit for team outcomes” (p.118), therefore one could assume that cultural diversity, since culture is influenced by race and ethnicity, will create benefits for workgroups at the organizations. Even though that negative implications could happen when dealing with employees' diversity, the current organizations face several challenges to get advantages from their employees' diversity; the organizations that have successfully managed diversity are the ones that truly value and celebrate the diversity of the employees, those organizations make efforts across the whole organization to understand and accept that differences are worthy (Marchant & Del Río, 2008).

Power Distance: A Cultural Dimension

The cultural dimensions –common characteristics of a culture– presented by Hofstede in 1980, and extended by Hofstede & Bond (1988) and Hofstede, Hofstede & Minkov (2010), are the most popular references used in studies regarding cultural aspects; in spite of that, these have also been the most criticized dimensions.

Power distance was the first cultural dimension developed through the IBM data used by Hofstede in 1980; its origin is based on human inequality, specifically regarding the power that is involved in the relationship between bosses and employees (Hofstede, 2001). According to Hofstede et al. (2010), in general terms power distance is “the extent to which the less powerful members of institutions and organizations within a country expect and accept that power is



distributed unequally.” (p.61); also, that distribution of power is explained on the basis of the actions of the members that have more power.

The concept of power distance can be brought to an organizational approach by defining it as the measure of power inequality between bosses and subordinates, perceived by the less powerful individuals, the subordinates (Mulder, 1977; Hofstede, 2001). As Mead (1998) affirmed, if there is a small power distance, managers are more likely to ask for support and consult their subordinates when decisions have to be made, they both cooperate with each other, employees have little fear of disagreeing with supervisors, and the distance between each other is reasonably small so the “subordinates will rather easily approach and contradict their bosses.” (Hofstede et al., 2010, p.61); otherwise, when the power distance is large the employees perform according to the managers directions.

Moreover, subordinates that are placed in a large power distance environment are reluctant to involve in decisions, they passively attend their managers’ instructions, and therefore managers have an unlimited power over employees (Khatri, 2009). In a large power distance context, the degree of the employees’ dependence on bosses is considerably high, and the distance between the subordinates and their bosses is reasonably large so “subordinates are unlikely to approach and contradict their bosses directly.” (Hofstede et al., 2010, p.61).

Additionally, Paulus et al. (2005) studied the impact of power distance on different team processes, such as decision making, elaboration of products, communication, accomplishment of goals, distribution of roles, and performance; their results show that the low power distance team had a great performance when dealing with possible conflicts.

Work Role Performance

For many years, there have been a few efforts to describe and clarify the concept of performance, even though it is a common measure in research; as mentioned before, performance involves actions –what employees do at work– and outcomes –what the employees obtain from their behavior and actions– (Sonnentag & Frese, 2002). Performance can be divided into task performance and contextual performance (Borman & Motowidlo, 1993, in Sonnentag & Frese, 2002); task performance is the “individual’s proficiency with which he or she performs activities which contribute to the organization’s ‘technical core’.” (p.6) and contextual performance “refers to activities which do not contribute to the technical core but which support the organizational, social, and psychological environment in which organizational goals are pursued” (p.6). For the purposes of this study, the research is focused only on task performance, because of its relationship with the tasks and responsibilities of the employee’s positions.

Griffin, Neal, & Parker (2007) developed a model for work role performance –based on previous models and investigations relating the field of performance– which involves nine dimensions established by a cross-classification of the three behaviors that support the effectiveness and the three forms of behavior. According to the authors, any dimension can be used separately from the whole model without affecting the validity of the selected dimension’s items; therefore, for this research, the performance is measured through the use of two dimensions of the model. The first dimension is *individual task proficiency*, which involves the behaviors that show that “an employee meets the known expectations and requirements of his or her role as an individual.” (Griffin, Neal, & Parker, 2007, p.331); this dimension comprises the common emphasis of the studies concerning performance. The second one is *individual task proactivity*, which refers to the engagement of employees with personal initiative, innovation at work, and “self-starting, future-oriented behavior to change their individual work situations, their individual work roles, or themselves.” (Griffin, Neal, & Parker, 2007, p.332).

Effects of Diversity on Work Role Performance

Additionally, it is relevant to mention that diversity has an effect on workgroups' performance since it can either increase or reduce the productivity and satisfaction of workgroup employees; therefore, it might be conceived as a double-edged weapon, considering that its effects are still ambiguous (Vásquez, 2006; Van Knippenberg & Schippers, 2007). Workgroup effectiveness can be positive or negative influenced by cultural diversity because "when people must work together in groups to perform a task, the cultural differences between group members often become more apparent." (Thomas, 2008, p.169). According to Thomas (2008), the performance of the more culturally diverse workgroups is likely to be lower than the performance of the more culturally homogeneous workgroups; on the other hand, the culturally diverse opinions and perspectives of the workgroup's members should turn into innovative and excellent decisions. In addition, the capability of employees for adapting to diverse and fluctuating scenarios is a significant part of their performance (Hesketh & Neal, 1999; Murphy & Jackson, 1999, in Sonnentag & Frese, 2002).

Effects of Power Distance on Work Role Performance

About the relationship between power distance and workgroups' performance, there is not much research on this matter. Fortunately, Hofstede (1991) stated that power distance is one of the two most problematic dimensions regarding the effective performance of a group; besides, power distance is a relevant characteristic that influences the relationships within a group.

Based on the cited facts about diverse workgroups and performance, and keeping power distance cultural dimension as focus, the following hypotheses are proposed:

Hypothesis 1 When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their individual task proficiency.

Hypothesis 2 When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their individual task proactivity.

Organizational Citizenship Behavior

There are three vital behaviors to operate an organization: (a) people have to be induced to join and linger in the organization, (b) assignments must be reliably fulfilled by employees, and (c) innovation and spontaneity have to be present when accomplishing organizational purposes that go further the role expectations (Katz, 1964). Those intentions that go beyond the employees' roles are the antecedents of the concept of organizational citizenship behavior (OCB), whose earliest references were made by Smith, Organ & Near in 1983 and Bateman & Organ, also in 1983.

The OCB construct was developed for the first time by Organ in 1988. It has been defined as an individual discretionary behavior that promotes organizational effectiveness, and it is mainly an unpunishable personal choice neither officially requested nor formally rewarded by the organization (Organ, 1988; Farh, Podsakoff & Organ, 1990; Organ, 1990; Graham, 1991; Van Dyne, Graham & Dienesch, 1994).

In a simple summary, OCB is the propensity of the employee to perform beyond his or her role expectative at work. OCB was originally composed by five dimensions developed by Organ (1988) that have been most studied by researchers; these dimensions join to form the wide construct of OCB. The concept of every OCB dimension can be described as follows, according to Organ's work (1988, 1990): *altruism* involves the voluntarily made actions that help a coworker under complex or difficult circumstances; *conscientiousness* refers to those actions that go further the minimums required concerning attendance, punctuality, and resources management,

among others –one must not confuse it with the Big Five personality dimension that goes by the same name–; *sportsmanship* is the tolerance attitude shown by the employee when dealing with inconvenient, uncomfortable or unexpected situations, without making any complaints about it; *courtesy* includes every action that is made to help a coworker, in order to prevent any problems or issues that might affect him or her; and *civic virtue* attends to the involvement of the employee with the organization's political processes, which includes checking the email, meetings attendance, opinion expression, and keeping up with the organization's affairs.

Nevertheless, those original dimensions have been modified and restructured by other authors along the development of new studies and researches. The dimensions have been given different names according to authors' perceptions and approaches (e.g. Graham, 1983, 1991; Moorman & Blakely, 1995; Podsakoff, Mackenzie, Moorman & Fetter, 1990; Van Dyne, Graham & Dienesch, 1994; Williams & Anderson, 1991).

Research outcomes support the fact that OCB is associated with performance; specifically it has an influence on workgroups and organization. For instance, Walz & Niehoff's (1996) work on 34 Limited Menu Restaurants partially supported that OCB is related to the organization's performance; some measures about organizational effectiveness did not have a significant relationship with OCB, but the authors concluded that those measures, such as profit margin and financial performance, might have been out of control of employees. According to the existing empirical evidence, Podsakoff, Mackenzie, Paine & Bachrach (2000) stated that OCB is related to performance, even if some dimensions–helping behaviors– show a stronger relationship than others –sportsmanship–. However, there is little research evidence to support the assumption that OCB affects units' performance and improves organizations' and/or workgroups' effectiveness; still, many reasons explain why OCB might be positively related to organizational performance and effectiveness. These reasons include that OCB might: improve the employees and managerial productivity, upgrade the management of resources, affect the coordination of employees within and across workgroups, reinforce the organization's skill of attracting and retaining the greatest employees, enhance the organizational performance stability, and improve the organization's skill of adapting to variations in the environment (Podsakoff & Mackenzie, 1997).

The work of Karambayya (1991) suggests that the team size, the stability of the team members, and the interpersonal interaction might influence the employee's preference to perform OCB. As well, George & Jones (1997) stressed the relevance of the group, a contextual factor, as an influence on OCB. Moreover, there are some characteristics of the groups that affect the employees' OCB, for example: the group cohesiveness, the quality of the relationship among the members, the potency of the group, and the group support perception (Berber & Rofcanin, 2012).

Paine & Organ (2000) found that in large power distance cultures, such as China, a large power distance represents that the employees are less expected to confront their superiors, they do as they are told and this limits the OCB, because even their possible initiatives could be perceived as challenges to the authority. In a small power distance culture, the employees' perception of fair treatment determines their possible demonstration of OCB (Paine & Organ, 2000); it is basically the opposite as in large power distance scenarios.

Hence, it is relevant to test whether the power distance diversity, as a characteristic of the workgroups, has an effect on the dimensions of OCB of the employees. The following hypotheses address to this fact:

- *Hypothesis 3* When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their altruism.
- *Hypothesis 4* When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their conscientiousness.

- *Hypothesis 5* When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their courtesy.
- *Hypothesis 6* When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their sportsmanship.
- *Hypothesis 7* When increasing the power distance diversity within workgroups, the members decrease their civic virtue.

Method

Participants

The research was conducted among the employees from a Costa Rican-located USA multinational company with multiple business units around the world.

The study involved 51 formal workgroups that comprised a total of 551 employees. Because of the extension of the questionnaire, the bosses of the 51 workgroups evaluated the OCB and the work role performance for a maximum of seven employees. Altogether, there were collected 251 evaluations of these two last variables. On the other hand, for measuring the power distance within the workgroups, it was intended to collect data from all the 551 employees. However, it was only possible to obtain an answer rate of 80.40%.

Measures and Procedure

Power Distance

For measuring the power distance of the employees, the 6-item scale developed by Dorfman & Howell (1988) was used. Their reliability score was .63, and several authors have used these measure to conduct studies (Nicholson, 1991; Fernandez, Carlson, Stepina, & Nicholson, 1997, in Wu, 2006). Examples of the items included: *Managers should seldom ask for the opinions of employees, and Employees should not disagree with management decisions*. The answers were presented on a 5-point Likert-type scale (1=*strongly disagree*, 5 =*strongly agree*). The alpha coefficient for this research was .65.

Power Distance Diversity

The power distance diversity or variability was measured through the power distance standard deviation, according to the workgroups' power distance mean.

Work Role Performance

Work role performance was measured through the use of two of the nine dimensions that compose the 27-item work role performance model developed by Griffin, Neal, & Parker (2007). The authors affirmed that each of the nine dimensions can be evaluated independently from the whole model, when the interest lies on measuring specific characteristics of the work role performance. The two dimensions that were used in this research are *individual task proficiency* and *individual task proactivity*; each of them comprises three items. The authors obtained alpha coefficients of .83 and .90, respectively for each dimension. The original items' drafting was developed for the employees to evaluate themselves. However, in this research the bosses evaluated the employees' work role performance; therefore, the items' pronouns were changed. Examples of the items were: *Completed the core tasks well using the standard procedure, and Initiated better ways of doing the core tasks*. An extra item in the individual task proficiency dimension was included. This item was *Completed tasks or duties in an adequate time*. Both

dimensions respectively had alpha coefficients of .90 and .88 in this study. The answers were presented on a 5-point Likert-type scale (1=*not at all*, 5 =*a lot*).

Organizational Citizenship Behavior

OCB was measured by the 24-item scale developed by Podsakoff, MacKenzie, Moorman & Fetter (1990), based on the previous work of Organ (1988, 1990). The construct is composed by five dimensions; which are: *altruism* (the voluntarily actions that help a coworker under complex or difficult circumstances), *conscientiousness* (the actions that go further the minimums required concerning attendance, punctuality, and resources management), *sportsmanship* (the tolerance attitude shown by the employee when dealing with unexpected situations, without making any complaints), *courtesy* (the actions that help a coworker to prevent any problems or issues that might affect him or her), and *civic virtue* (the involvement of the employee with the organization's political processes). The reliability score ranges from .70 to .93 in many researches (Farh, Earley & Lin, 1997, in Tayyab, 2005; Argentero, Cortese & Ferretti, 2008). The answers were presented on a 5-point Likert-type scale (1=*strongly disagree*, 5 =*strongly agree*). The alpha coefficient for each dimension was: .87 for altruism, .77 for conscientiousness, .91 for sportsmanship, .88 for courtesy, and .83 for civic virtue. Examples of the items include: *Helps others who have been absent* (altruism), *Does not take extra breaks* (conscientiousness), *Does not abuse the rights of others* (courtesy), *Tends to make "mountains out of molehills"* (sportsmanship), and *Keeps abreast of changes in the organization* (civic virtue).

Control Variables

The influences of the sex and the age of the employees were statistically controlled in order to prevent bias within the research. Sex was categorized as *Men* (1) or *Women* (2). Age was measured as complete years; for example: *18 years*.

Analysis

For testing the research hypotheses, a multilevel regression analysis was conducted. The analysis included determining the effect of power distance diversity on the individual performance, composed for the purposes of the research by work role performance and OCB.

Results

A summary of the mean, standard deviation, maximum, and minimum values of the research variables is shown in the Table 1. The constructs of OCB and work role performance were divided into the correspondent dimensions. The control variables were also included in the descriptive statistics.

The main result is that the power distance dimension had a mean value of 25, this represents that on average the employees have a short power distance. Results for the OCB construct show that four dimensions have a mean value within a range from 72 to 77, and civic virtue is the exception with a 60 mean value. Therefore, the bosses perceive that on average the employees are greatly behaving beyond the expectations and requirements that the organization is asking, they are making additional efforts within their workplace to promote organizational effectiveness. Nevertheless, the bosses feel that the employees are not much compromised with the political processes of the organization; for example, attending meetings and keeping up on the organization's affairs. Regarding the employees' performance, the mean values for both analyzed dimensions were relatively high. Concerning individual task proficiency, the results indicated that employees constantly perform according to their work role; about the individual task proactivity's results, employees are moderately showing initiative behaviors and taking

few innovative actions at work. On the basis of these results, the employees are perceived as individuals who confidently meet their duties and responsibilities at work; but they are not willing to take work initiatives very often, they rather maintain their usual work conditions.

Table 1. Descriptive statistics of the main research variables.

Construct	Mean	Standard Deviation	Maximum	Minimum
Power Distance	25.27	13.53	83.33	0.00
Altruism	75.02	17.50	100.00	10.00
Conscientiousness	75.40	16.92	100.00	15.00
Sportsmanship	72.39	23.08	100.00	0.00
Courtesy	77.23	18.03	100.00	10.00
Civic Virtue	60.43	18.81	100.00	0.00
Individual Task Proficiency	77.49	18.88	100.00	12.50
Individual Task Proactivity	68.89	22.50	100.00	0.00
Age	30.00	6.00	54.00	18.00
Sex	0.57			

Note. $n=251$. Descriptive statistics for age are shown in years. The mean value for sex represents the percentage of men within the sample.

The Figure 1 shows the distribution of the power distance coefficient of variation (C_v), within the workgroups. In this case, every workgroup has its own power distance mean, so there are 51 power distance means. The C_v was calculated to measure how diverse was every workgroup regarding its power distance mean. The results show that almost a third of the workgroups have a C_v under 40%. Those workgroups are more homogenous regarding the power distance of their members. On the other hand, almost half of the workgroups have a C_v above 50%. It means that most of the workgroups are heterogeneous regarding the power distance of their members.

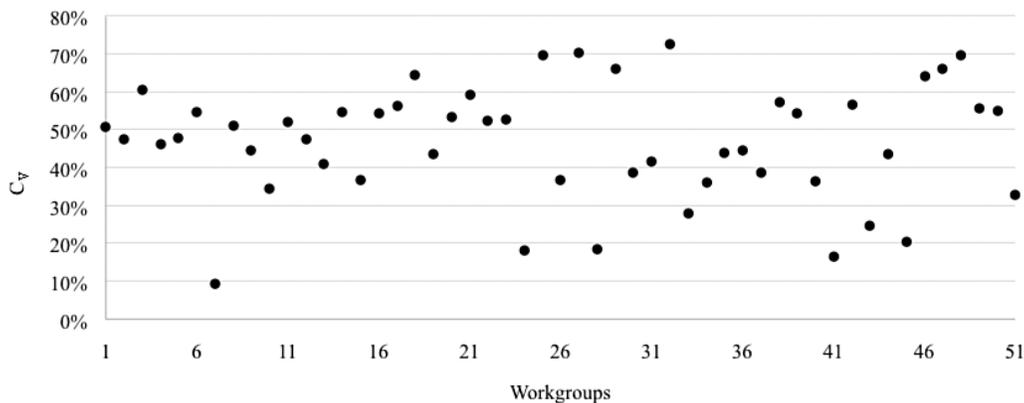


Figure 1. Coefficient of variation of the power distance in the workgroups. $n= 51$ workgroups comprising 443 employees.

The Table 2 displays a multilevel regression analysis, which predicts the individual performance –based on OCB and work role performance– from the power distance cultural dimension and its diversity. The results show that power distance diversity is negatively correlated with altruism, civic virtue, individual task proficiency, and individual task productivity. This represents that when increasing by one the power distance standard deviation within a group, the employee’s altruism decreases by .76, the employee’s civic virtue decreases by 1.14, the employee’s individual task proficiency decreases by .99, and the employee’s individual task productivity decreases by 1.01.

Unfortunately, conscientiousness, sportsmanship, and courtesy did not show a significant correlation with power distance diversity within the workgroups. However, the coefficients for conscientiousness and courtesy showed the same negative value tendency as altruism and civic virtue. On the other hand, the sportsmanship’s coefficient was the only one that showed a positive value.

Additionally, the power distance of the employees showed a significant correlation with sportsmanship. As a result, when the power distance of an employee increases by one point, the sportsmanship decreases in .20.

It is worth to mention that the control variable of age showed a significant negative correlation with sportsmanship. When the age of the employees increases by one, the sportsmanship decreases by .71. Consequently, older employees will make more complaints when facing inconvenient situations.

Table 2. Multilevel Regression Analysis predicting the Individual Performance from Power Distance Diversity.

Parameter	Altruism	Conscientiousness	Courtesy	Sportsmanship	Civic Virtue	Individual Task Proficiency	Individual Task Proactivity
Fixed Effects							
Intercept	81.47** (8.14)	75.58** (7.95)	83.65** (8.74)	94.36** (10.52)	73.12** (8.97)	92.91** (8.86)	77.52** (10.42)
Men vs. Women	-.55 (2.19)	-2.24 (2.10)	-1.17 (2.10)	5.56 (2.82)	-3.00 (1.89)	-3.15 (2.29)	.74 (2.77)
Age	.05 (0.18)	.18 (.18)	-.05 (.18)	-.71** (.24)	.10 (.16)	-.05 (.19)	.15 (.23)
Power Distance	.06 (.08)	-.02 (.08)	-.04 (.08)	-.20* (.11)	-.03 (.07)	-.01 (.09)	-.04 (.10)
Power Distance Standard Deviation	-.76* (.43)	-.34 (.42)	-.26 (.51)	.06 (.55)	-1.14* (.57)	-.99** (.48)	-1.01* (.55)
Random Parameters							
Intercept	60.26* (23.89)	64.44* (22.85)	120.99* (34.70)	103.80* (38.48)	177.60* (44.17)	90.25* (31.34)	107.34* (40.09)
Residual	247.82* (24.92)	225.13* (22.47)	213.66* (21.49)	408.75* (40.72)	167.36* (16.86)	264.80* (26.73)	392.63* (39.44)

Note. Standard errors are in parentheses. vs. = versus. n=251.

** $p < .05$

* $p < .10$

Discussion

The research intended to analyze the effect of power distance diversity within workgroups on two dimensions of work role performance and the five dimensions of OCB.

Initially, the outcomes provided evidence to support the following hypotheses: Hypothesis 1 and Hypothesis 2 regarding work role performance, and Hypothesis 3 and Hypothesis 7 regarding OCB. These statements supported that power distance diversity can have a negative influence on the individual performance of the employees. This might be due to the fact that, when having different cultural characteristics the employees might confront their coworkers because those characteristics led the employees to demonstrate different opinions and points of view. Therefore, the following situations may happen: diverse workgroups might have more issues regarding communication and interaction among the members of the workgroups diverse workgroups can become more conflictive, employees possibly will feel out-of-place within the workgroup, and employees may show less commitment to the workgroup. In addition, the results only provided partial evidence to support Hypothesis 4, Hypothesis 5 and Hypothesis 6; thus, these hypotheses were rejected.

The results evidenced that the mean value for power distance was 9.73 points lower when comparing it to the Hofstede's Costa Rican power distance index of 1980. It is reasonable that the value has changed; and this may attend to the fact that societies are evolving to a context with more equal opportunities, where the individuals are becoming to perceive the others around as similar human beings, with the same rights and duties. Particularly for the organizational context, the power distance mean showed by the data reflects that the employees perceive that their opinions are asked by their bosses when decisions have to be made and there are no retaliations when disagreeing or challenging their bosses.

The previous fact might be related to the findings regarding individual task proactivity. Since employees are being asked to give opinions and points of view, the employees might be feeling more comfortable at work. Thus, they are developing some initiative and innovative actions and behaviors, which stood for the individual task proactivity dimension. In addition, employees are successfully showing behaviors that go beyond what the organization is expecting them to achieve, and they are also making extra efforts to encourage effectiveness within the organization. It may be possible that employees are perceiving that when giving their opinions and ideas, they are contributing to the company; consequently, they are performing above the required standard to contribute much more. In spite of that, employees do not leave behind their specific tasks, responsibilities, and duties; because based on the individual task proficiency dimension, they are mainly performing according to their work role.

Regarding the power distance diversity within workgroups. The results stated that workgroups' employees have different extents of power distance, this drove to the conclusion that workgroups are very diverse in terms of power distance. As a result, this confirms that organizations are forming more culturally diverse workgroups. However, the study suggested that homogenous workgroups are the ones highly performing within the organizations; because those workgroups are positively influencing the OCBs and the work role performance of the employees.

The results from the multilevel regression analysis allowed to state that when workgroups are more diverse regarding power distance, the employee's altruism, civic virtue, individual task proficiency, and individual task proactivity have a tendency to decrease. For instance, if employees decrease the presence or execution of these dimensions, these dimensions at the workgroup level will be probably reduced too. Concerning the sportsmanship dimension, the results indicated that the tolerance attitude that an employee demonstrates, when unpredicted circumstances occur within the workgroup, did not have a significant relationship with the variability of power distance within the workgroup. However, this dimension was negatively

correlated with the power distance of the employees. Thus, it might be possible that employees with a large power distance also have less tolerance for unpredicted circumstances. For example, since employees with a large power distance prefer not to argue, they might not accept it well when being asked to contradict or criticize their superiors, because this would represent an uncomfortable situation for them. Additionally, the control variable age had a negative effect on the employees' sportsmanship. This might attend to the fact that older employees do not make many faults or mistakes at work, due to their experience; thus, they do not react well when uncomfortable situations happen. Finally, on the basis of this regression analyses, it was possible to infer that within workgroups with more power distance diversity, the OCB and work role performance decrease; because the differences in power distance might cause disputes among the members of the workgroups.

Conclusion

The previous outcomes led to determine that power distance diversity, within workgroups, does have an effect on the individual performance of the employees under study. Particularly in this study, the effect of power distance diversity within workgroups lies on the reduction of the work role performance and the organizational citizenship behavior of the employees.

The most relevant findings, as support for some of the statements in the review of the literature, include the next three statements. First, workgroups were identified as heterogeneous, or very diverse, in terms of the power distance cultural dimension. Second, on the basis of this power distance diversity within the workgroups, the research found that such diversity influences in a negative way the performance of altruism and civic virtue, two dimensions of OCB. Third, the power distance diversity affects the employee's work role performance in a negative way. Therefore, it is possible to infer that power distance diversity within workgroups negatively influences employees' actions, behaviors, and outcomes, within the organizational that was analyzed.

Acknowledgements

With great pleasure we thank the Rectory's "Programa de Movilidad Académica Estudiantil" and the Business Administration School of the Costa Rica Institute of Technology, for the academic and financial support for making this research possible. Also, we deeply thank Prof. Dr.-Ing. Albrecht Nick for all the support during the internship at the "Duale Hochschule Baden-Württemberg" in Karlsruhe, Germany.

References

- Argentero, P., Cortese, C. & Ferretti, M. (2008). An Evaluation of Organizational Citizenship Behavior: Psychometric Characteristics of the Italian Version of Podsakoff et al.'s Scale. *TPM*, 15(2), 61-75.
- Bateman, T. & Organ, D. (1983). Job Satisfaction and the Good Soldier: The Relationship Between Affect and Employee "Citizenship". *Academy of Management Journal*, 26(4), 587-595.
- Berber, A. & Rofcanin, Y. (2012). Investigation of Organizational Citizenship Behavior Construct: A Framework for Antecedents and Consequences. *International Journal of Business and Social Research*, 2(4), 195-210.
- Diez, E. (2006). Los grupos en las organizaciones empresariales: sistemas dinámicos, complejos y adaptativos. Una aproximación teórica desde el estudio de diversos modelos. *Visión Gerencial*, 5(2), 156-165.
- Dorfman, P. & Howell, J. (1988). Dimensions of National Culture and Effective Leadership Patterns: Hofstede Revisited. *Advances in International Comparative Management*, 3, 127-150.

- Farh, J., Podsakoff, P. & Organ, D. (1990). Accounting for Organizational Citizenship Behavior: Leader Fairness and Task Scope versus Satisfaction. *Journal of Management*, 16(4), 705 - 721.
- Khatri, N. (2009). Consequences of Power Distance Orientation in Organisations. *The Journal of Business Perspective*, 13(1), 1-9.
- Konrad, A., Prasad, P., & Pringle, J. (2006). Examining the Contours of Workplace Diversity: Concepts, Contexts and Challenges. In A. Konrad, P. Prasad, & J. Pringle (Eds.), *Handbook of Workplace Diversity*. (pp. 1-23). London: SAGE Publications Ltd.
- Graham, J. (1983). *Organizational citizenship behavior: Construct redefinition, operationalization, and validation*. Unpublished manuscript, Loyola University of Chicago, Chicago, IL.
- Graham, J. (1991). An essay on Organizational Citizenship Behavior. *Employee Responsibilities and Rights Journal*, 4(4), 249-270.
- Griffin, M., Neal, A. & Parker, S. (2007). A New Model of Work Role Performance: Positive Behavior in Uncertain and Interdependent Contexts. *Academy of Management Journal*, 50(2), 327-347.
- Hofstede, G. (1980). Culture's Consequences: International Differences in Work-Related Values. *Cross-cultural research and methodology series, 5*. Beverly Hills, CA: SAGE Publications.
- Hofstede, G. (1991). *Cultures and Organizations: Software of the mind* (3rd. ed.). London, UK: McGraw-Hill UK.
- Hofstede, G. (2001). *Culture's Consequences: Comparing Values, Behaviors, Institutions and Organizations Across Nations* (2nd. ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Hofstede, G. & Bond, M. (1988). The Confucius Connection: From Cultural Roots to Economic Growth. *Organizational Dynamics*, 16(4), 4-21.
- Hofstede, G., Hofstede, G. J. & Minkov, M. (2010). *Cultures and Organizations: Software of the mind* (3rd. ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Karambayya, R. (1991). *Work unit characteristics with implications for organizational citizenship behavior*. Unpublished manuscript, York University, Ontario, Canada.
- Katz, D. (1964). The motivational basis of organizational behavior. *Behavioral Science*, 9(2), 131-146.
- Kozlowski, S. & Bell, B. (2003). Work groups and teams in organizations. In W. C. Borman, D. R. Ilgen, & R. J. Klimoski (eds.), *Handbook of psychology: Industrial and organizational psychology*, 12, 333-375. New York: Wiley.
- Kozlowski, S. & Ilgen, D. (2006). Enhancing the Effectiveness of Work Groups and Teams. *Psychological Science in the Public Interest*, 7(3), 77-124.
- LePine, J., Erez, A. & Johnson, D. (2002). The nature and dimensionality of organizational citizenship behaviour: A critical review and meta-analysis. *Journal of Applied Psychology*, 87(1), 52-65.
- Marchant, L. & Del Río, A. (March, 2008). Gestión estratégica de la diversidad cultural en las organizaciones. *Ciencias Sociales Online*, 5(1), 53-70.
- Mead, R. (1998). *International Management: Cross-Cultural Dimensions* (2nd ed.). Victoria: Blackwell Publishing.
- Moorman, R. & Blakely, G. (1995). Individualism-collectivism as an individual difference predictor of organizational citizenship behavior. *Journal of Organizational Behavior*, 16, 127-142.
- Moreland, R. (1999). Transactive memory: Learning who knows what in work groups and organizations. In L. L. Thompson, J. M. Levine, & D. M. Messick (eds.), *Shared cognition in organization*, 3-31. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mulder, M. (1977). The daily power game. *International series on the quality of working life*, 6. Leiden: Martinus Nijhoff Social Sciences Division.
- Organ, D. (1988). *Organizational citizenship behavior: The good soldier syndrome*. Lexington, MA: Lexington Books.
- Organ, D. (1990). The motivational basis of organizational citizenship behavior. In: Staw, B. & Cummings, L. (eds.). *Research in Organizational Behavior*, 12, 43-72. Greenwich, CT: JAI Press Inc.
- Paine, J. & Organ, D. (2000). The cultural matrix of organizational citizenship behavior: Some preliminary conceptual and empirical observations. *Human Resource Management Review*, 10, 45-59.
- Paulus, T., Bichelmeyer, B., Malopinsky, L., Pereira, M. & Rastogi, P. (2005). Power distance and group dynamics of an international project team: a case study. *Teaching in Higher Education*, 10(1), 43-55.



- Podsakoff, P. & MacKenzie, S. (1997). The impact of organizational citizenship behavior on organizational performance: A review and suggestions for future research. *Human Performance*, 10, 133–151.
- Podsakoff, P., MacKenzie, S., Moorman, R. & Fetter, R. (1990). Transformational leader behaviors and their effects on followers' trust in leader, satisfaction, and organizational citizenship behaviors. *Leadership Quarterly*, 1, 107-142.
- Podsakoff, P., MacKenzie, S., Paine, J. & Bachrach, D. (2000). Organizational Citizenship Behaviors: A Critical Review of the Theoretical and Empirical Literature and Suggestions for Future Research. *Journal of Management*, 26(3), 513-563.
- Shore, L., Chung-Herrera, B., Dean, M., Ehrhart, K., Jung, D., Randel, A., & Singh, G. (2009). Diversity in organizations: Where are we now and where are we going? *Human Resource Management Review*, 19, 117-133.
- Smith, C., Organ, D., & Near, J. (1983). Organizational citizenship behavior: Its nature and antecedents. *Journal of Applied Psychology*, 68, 655– 663.
- Sonnentag, S. & Frese, M. (2002). Performance Concepts and Performance Theory. In Sonnentag, S. (Eds), *Psychological Management of Individual Performance* (pp. 3-25). Germany: John Wiley & Sons, LTD.
- Tayyab, S. (2005). Organisational Citizenship Behaviour: Validating Factorial Structure and Invariance among Employees. *Journal of the Indian Academy of Applied Psychology*, 31(1-2), 49-64.
- Thomas, D. (2008). *Cross-Cultural Management: Essential Concepts*. (2nd. ed.). Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Van Dyne, L., Graham, J & Dienesch, R. (1994). Organizational Citizenship Behavior: Construct redefinition, measurement, and validation. *Academy of Management Journal*, 37(4), 765-802.
- Van Knippenberg, D. & Schippers, M. (2007). Work Group Diversity. *Annual Review of Psychology*, 58.
- Vásquez, S. (2006). *Impacto de la Diversidad Cultural en los Grupos de Trabajo de Amanco* (Scientific Article, Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología). Retrieved from <http://bb9.ulacit.ac.cr/tesinas/Publicaciones/033593.pdf>
- Walz, S. M. & Niehoff, B. P. (August, 1996). Organizational citizenship behaviors and their effect on organizational effectiveness in limited-menu restaurants. *Academy of Management Proceedings*, 1996, (1), 307-311
- Williams, K. & O'Reilly, C. (1998). Demography and Diversity in Organizations: A review of 40 years of research. *Research in Organizational Behavior*, 20, 77-140.
- Williams, L. & Anderson, S. (1991). Job satisfaction and organizational commitment as predictors of organizational citizenship and in-role behaviors. *Journal of Management*, 17: 601– 617.
- Wu, M.Y. (2006). Hofstede's Cultural Dimensions 30 Years Later: A Study of Taiwan and the United States. *Intercultural Communication Studies*, 15(1), 33-42.

Establecimiento *in vitro* de (*Vaccinium consanguineum*), un arándano nativo de Costa Rica

**In vitro establishment of *Vaccinium consanguineum*,
a native blueberry from Costa Rica**

Vilma Jiménez-Bonilla¹, Ana Abdelnour-Esquivel²

Fecha de recepción: 2 de julio del 2015
Fecha de aprobación: 26 de octubre del 2015

Jiménez-Bonilla, V; Abdelnour-Esquivel, A. Establecimiento *in vitro* de (*Vaccinium consanguineum*), un arándano nativo de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 77-84.

1 Centro de Investigación en Biotecnología, Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: vijimenez@itcr.ac.cr

2 Centro de Investigación en Biotecnología, Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: aabdelnour@itcr.ac.cr

Palabras clave

Arándano; antioxidantes; hipoclorito de sodio y calcio y HgCl_2 .

Resumen

En Costa Rica, el arándano es una de las especies silvestres cuya domesticación ha despertado gran interés, ya que es horticulturalmente promisorio. Por esta razón se incluyó como línea de investigación en el área de cultivos no tradicionales del Programa Nacional de Fruticultura (Ing. Alberto Montero, Gerente del Programa Nacional de Frutas No Tradicionales del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Noviembre 2014 San José, Costa Rica, comunicación personal). El objetivo de esta investigación fue desarrollar un protocolo de *establecimiento in vitro* de esta especie, como parte del proyecto Arándano: Una opción para la diversificación de la agricultura de las zonas altas del país, con el fin de contar con material aséptico que permita continuar con el desarrollo de las siguientes etapas del proceso de micropropagación. Para el establecimiento *in vitro* se utilizaron miniestacas tomadas directamente del campo, con 2 y 3 nudos, se lavaron con abundante agua y jabón por 30 minutos, posteriormente se desinfectaron con varias soluciones como hipoclorito de sodio y calcio y cloruro de mercurio (HgCl_2), en varias concentraciones. La solución que permitió los mayores porcentajes de estacas establecidas asépticamente fue HgCl_2 al 0,2% durante 5 minutos. El medio utilizado fue un WPM con 1g/l de carbón activado. Las estacas establecidas asépticamente se utilizaran para evaluar el efecto de varios reguladores del crecimiento en la brotación de las yemas.

Keywords

Blueberry; antioxidants; sodium and calcium choride; HgCl_2 .

Abstract

In Costa Rica, blueberry is one of the wild species whose domestication has aroused great interest, since it is horticulturally promising. For this reason it was included as a line of research in the area of non-traditional fruit crops in the Fruit Growing National Program (Eng. Alberto Montero, national program manager of the non-traditional fruits in the Ministry of Agriculture and Livestock, November 2014, San Jose, Costa Rica, personal communication). The objective of this research was to develop a protocol for *in vitro* establishment of this species, as part of the blueberry project: an option for the diversification of agriculture in the Highlands of the country, in order to count with aseptic material that allows to continue with the development of the following stages of micropropagation process. For the *in vitro* establishment, micro cuttings with 2 and 3 knots were taken directly from the field, washed with detergent and water for 30 minutes, then were disinfected with several solutions such as sodium and calcium hypochlorite and Mercury chloride (HgCl_2), in various concentrations. The solution that allowed the highest percentages of micro cuttings established aseptically was HgCl_2 0.2% for 5 minutes. The medium used was a WPM with 1 g/l of activated charcoal. Micro cuttings established aseptically will be utilized to assess the effect of multiple regulators of growth in the sprouting of buds.

Introducción

El arándano es un arbusto de la familia de las ericáceas, género *Vaccinium*. Sus frutos son bayas de color oscuro, azuladas o rojizas, ricas en antocianos y minerales. Sus cualidades nutricionales y antioxidantes hacen del arándano un fruto de alto valor medicinal y nutricional.

Estudios recientes (Jiménez-Bonilla & Abdelnour-Esquivel, 2013) confirmaron el valor nutricional del arándano nativo de Costa Rica. Se compararon los índices de actividad antioxidante mostrados para arándanos comerciales (94 y 92 μM de Trolox equivalente/g muestra fresca) (Inkanatural, 2008), los cuales son menores a los arrojados por los análisis de los arándanos silvestres en el estudio (entre 550 y 650 μM). Además, los valores reportados para ciruela (73), mora (53), frambuesa (48), manzana (43) y naranja (18), entre otros (Inkanatural, 2008), también muestran valores muy inferiores a los determinados en los materiales silvestres analizados.

Desde hace algunos años, los principales supermercados de Costa Rica importan esta fruta procesada en diferentes presentaciones (jugos, mermeladas, *toppings*, pasteles y otros) y más recientemente como fruta congelada. PROCOMER (2012) señala que las frutas de *Vaccinium* se importan desde Chile, Colombia, México y Estados Unidos y que las divisas invertidas para ello han ido en aumento en los últimos años, pasando de US\$48.000 en 2007 a US\$215.100 en 2013, lo que muestra el incremento en el consumo nacional de estas frutas. Sin embargo, por su alto precio en el mercado nacional, es probable que su consumo esté limitado a un sector selecto de la población. Con base en estos resultados, así como en la información sobre el aumento en el consumo de arándano y las crecientes divisas que invierte el país en la importación de productos a base de esta fruta, se evidenció la necesidad de incentivar y apoyar las iniciativas de domesticar estas plantas para introducirlas en la producción comercial.

La micropropagación es una de las técnicas que permiten lograr plantas con características genéticas similares a la que les dio origen. Una de sus etapas es el establecimiento *in vitro*, que está limitado por la ocurrencia de contaminantes fúngicos y bacteriológicos que colonizan el explante y el medio de cultivo, ocasionando su muerte y oxidación. Este constituye uno de los problemas más serios y frecuentes, tanto al inicio del proceso como durante el mantenimiento de un tejido cultivado *in vitro* y se considera la mayor limitante del desarrollo de un protocolo de micropropagación. Por lo anterior, se desarrolló este estudio de establecimiento *in vitro* de miniestacas tomadas de material que crecía en campo, con el fin de sentar las bases del protocolo de micropropagación de esta especie.

Materiales y métodos

Recolección

Se seleccionó el material de arándano identificado previamente como “Las Torres 2”, localizado en el Cerro de la Muerte, que mostró, durante estudios previos, tener las características deseables para la producción comercial (color, tamaño y sabor) y los mayores contenidos de antioxidantes de los materiales evaluados (Cuadro 1). Se realizaron 16 giras de recolección por año. Se recolectaron tallos jóvenes poco lignificados, que se envolvieron en papel toalla humedecido con agua y se colocaron en una hielera para su traslado al laboratorio de cultivo de tejidos del Centro de Investigaciones en Biotecnología (CIB), del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Establecimiento *in vitro*

Los tallos recolectados se seccionaron en estacas que contenían de 2 a 3 nudos y se eliminaron las hojas. Posteriormente, se lavaron con agua y jabón quirúrgico en forma individual con ayuda de un cepillo suave, se enjuagaron tres veces con abundante agua y se sometieron a diferentes tratamientos con desinfectantes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos desinfectantes, concentraciones y tiempos de incubación de las miniestacas de arándano (*Vaccinium consanguineum*)

Tratamiento	Desinfectante	Concentración	Tiempo (min)
1	Alcohol	70%	5
	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
	Hipoclorito de calcio (68% i.a.)	8%	10, en agitación
	Alcohol	70%	5
2	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
	Hipoclorito de calcio	10%	10, en agitación
	Alcohol	70%	5
	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
3	Hipoclorito de sodio	1,5%	10, en agitación
	Alcohol	70%	5
	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
	Hipoclorito de sodio	1,5%	20, en agitación
4	Alcohol	70%	5
	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
	Hipoclorito de sodio	1,5%	20, en agitación
	Alcohol	70%	5
5	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
	Hipoclorito de sodio	3%	10, en agitación
	Alcohol	70%	5
	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
6	Hipoclorito de sodio	1,5%	15, en agitación
	Alcohol	70%	5
	Benomyl Agrimicin Ferbán	6 g/L	60, en agitación
	Cloruro de mercurio (HgCl ₂)	0,175%	5
7	Cloruro de mercurio (HgCl ₂)	0,20%	5
8	Cloruro de mercurio (HgCl ₂)	0,175%	6
9	Cloruro de mercurio (HgCl ₂)		

Después de cada tratamiento de desinfección se realizaron al menos tres enjuagues con agua destilada estéril en la cámara de transferencia de flujo laminar y durante la siembra en los envases de cultivo el material vegetal se mantuvo en una solución antioxidante de 500mg/l de ácido cítrico y 250 mg/l de ácido ascórbico (previamente esterilizados). Se sembró un explante por envase de cultivo conteniendo 20 ml del medio descrito por Murashige y Skoog (MS) (1962) en ausencia de reguladores de crecimiento, con un pH ajustado a 5,7.

Se colocaron los explantes en el cuarto de crecimiento, con una temperatura ambiente de 21 °C a 22 °C en la oscuridad durante ocho días. Posteriormente, se mantuvieron en el mismo cuarto de crecimiento pero en luz directa (2000 Lux), con un fotoperiodo de 16 horas luz. También se evaluó el efecto de temperaturas mayores y menores sobre la brotación de las yemas, colocando los explantes en un cuarto de crecimiento con una temperatura de 27 °C y dándoles un pretratamiento de frío a 5 °C en la refrigeradora.

Cada unidad experimental consistió de un explante por envase de cultivo con 50 repeticiones y cada experimento se repitió al menos dos veces. La evaluación se realizó semanalmente durante ocho semanas, tomando en cuenta el número de explantes establecidos de manera aséptica, explantes contaminados (hongos-bacterias), oxidados y muertos.

Resultados

Establecimiento *in vitro*

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre los tratamientos. Para la desinfección, los tratamientos 1, 2, 3 y 4 resultaron estadísticamente iguales entre sí; los tratamientos 7 y 8 estadísticamente similares entre sí. Sin embargo, los tratamientos 5 y 6 presentaron diferencias significativas con respecto a los primeros mencionados; los tratamientos 7 y 8 guardan similitud entre ellos y con el tratamiento 9. El tratamiento que permitió los menores porcentajes de oxidación de explantes fue el No. 9, pero no presentó diferencia estadística significativa con respecto al tratamiento 8.

El uso de hipoclorito de calcio en las concentraciones y tiempos de incubación evaluados permitió altos porcentajes de contaminación de miniestacas, lo mismo que los tratamientos que incluyeron la incubación en hipoclorito de sodio al 1,5% *i.a.* durante 10 y 20 min (tratamientos 1, 2, 3 y 4) (entre 80% y 90% de contaminación). Por otra parte, al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio al 3% y realizar la incubación por 10 y 15 min, los porcentajes de contaminación disminuyeron significativamente (55% y 50% de miniestacas contaminadas, respectivamente). El uso de cloruro de mercurio permitió la menor contaminación y el mayor porcentaje de explantes establecidos asépticamente. De acuerdo con el análisis estadístico, el mejor tratamiento consistió en la incubación en 0,2% de cloruro de mercurio durante 6 min (28% de contaminación) (figura 1A).

También se evaluó la oxidación que presentaron las miniestacas de arándano con base en los tratamientos utilizados para la desinfección, después de ocho semanas de cultivo. La prueba de Fisher evidenció diferencias significativas entre los tratamientos. Los tratamientos 1 y 5 no presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás, los tratamientos 2, 3 y 4 no presentaron diferencia entre sí, los tratamientos 6, 8 y 9 tampoco mostraron diferencia significativa entre sí. Los menores porcentajes de miniestacas oxidadas se observaron en los tratamientos 7, 8 y 9 (40% de oxidación) (figura 1B).

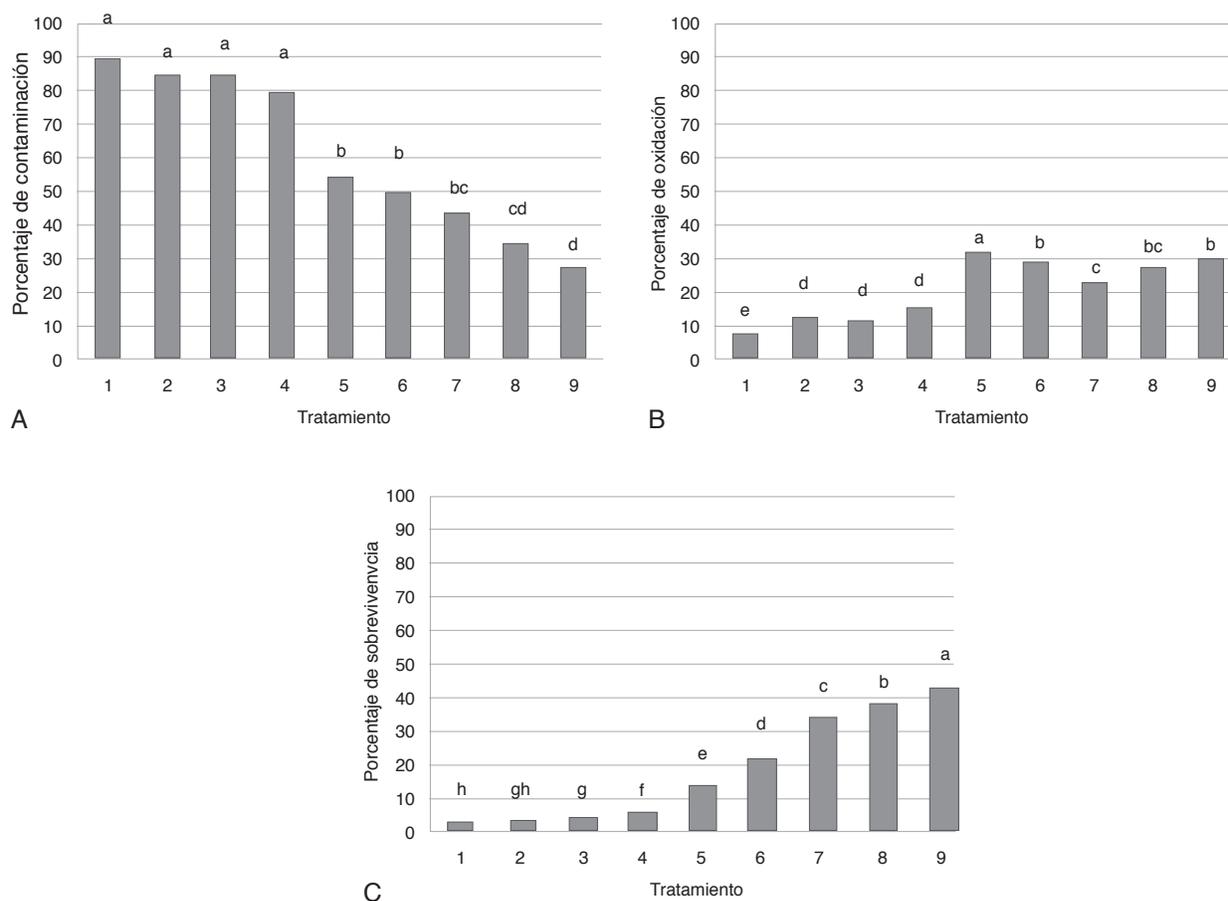


Figura 1. Contaminación (A), oxidación (B) y supervivencia (C) de miniestacas de arándano (*Vaccinium consanguineum*) según el tratamiento de desinfección, después de ocho semanas de cultivo.

En cuanto a la supervivencia de las miniestacas después de los tratamientos de desinfección (figura 1C), los mayores porcentajes de explantes se observaron en los tratamientos 7, 8 y 9 (33,6%, 37,7% y 42,5%, respectivamente), aunque son estadísticamente diferentes entre sí. El tratamiento 9 permitió el mayor porcentaje de miniestacas sobrevivientes, luego de eliminar los explantes contaminados y oxidados.

Discusión

El material vegetativo obtenido directamente del campo posee en su superficie una abundante microflora que debe ser eliminada por medio de procedimientos de desinfección para cumplir con el establecimiento aséptico, el cual es la fase número uno y fundamental en cualquier metodología de propagación (George, Hall & De Klerk, 2008). En los primeros seis tratamientos de desinfección se combinó el uso de desinfectantes como biocidas de acción superficial (alcohol, hipoclorito de calcio y sodio) con dos sistémicos de amplio espectro, benomyl (Benlate®) y estreptomycin y terramicina (Agri-mycin®), tras evaluar concentraciones y tiempos de exposición que no ocasionaran daños a los tejidos. Los resultados mostraron no ser los más efectivos para la descontaminación del material (figura 1), por lo que se debe tomar en cuenta que, al ser material del campo, la probabilidad de contaminación por hongos y bacterias es grande, ya que el grado de contaminación está determinado por las condiciones climáticas

de la región; es más difícil obtener explantes limpios de plantas del trópico húmedo que de las regiones frías o secas (Rathore et al., 2007).

Dado lo anterior, se recurrió al uso de cloruro de mercurio, el cual se utiliza para la eliminación exófito de microorganismos y se menciona que tiene gran acción bacteriostática y fungicida en concentraciones mayores a 0,004% (Niubóu et al., 2004). En esta investigación se determinó que, con el empleo de cloruro de mercurio al 0,02% durante 5 y 6 min, se obtuvieron bajos porcentajes de contaminación, lo que resultó muy efectivo. Tratamientos similares fueron efectivos para desinfectar propágulos de caña (Niubó et al., 2004), teca (Abdelnour & Muñoz, 2005) y amarillón (Mendez-Álvarez & Abdelnour-Esquivel, 2014), entre otros. Durante la desinfección, los explantes sufren, en mayor o menor medida, situaciones de estrés, desecación y daños mecánicos que estimulan el metabolismo de los compuestos fenólicos (López, 2004) que son tóxicos para los tejidos vegetales, provocando cese del crecimiento, oscurecimiento de los tejidos vegetales, exudados que oscurecen el medio de cultivo y en algunos casos la muerte del explante (Cáceres, 2006).

En este estudio, la oxidación fue una variable de consideración que constituyó también uno de los problemas más serios y frecuentes, provocando la muerte del material, evidenciándose en los tratamientos de desinfección utilizando desinfectantes como alcohol e hipoclorito de calcio y sodio, que aumentaron los porcentajes de oxidación. Azofeifa (2009) sugiere que los problemas de oxidación podrían reducirse con el uso de un medio líquido con carbón activado. En este estudio, los enjuagues con antioxidantes (ácido ascórbico y cítrico) y la adición de carbón activado al medio de cultivo (500mg/l) fueron efectivos para disminuir la oxidación. Sin embargo, el uso de cloruro de mercurio en bajas concentraciones y periodos cortos de contacto con el material mostró ser más efectivo, tanto para la desinfección como para la disminución de las miniestacas oxidadas, con lo que se logró disponer de material aséptico para iniciar la siguiente fase de micropropagación.

Agradecimientos

Las investigadoras agradecen el apoyo financiero de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Bibliografía

- Abdelnour, A. & Muñoz, A. (1999). Rescate, establecimiento y conservación de orquídeas en vías de extinción. *Tecnología en Marcha*, 13, 24-30.
- Azofeifa, A. (2009). Problemas de oxidación y oscurecimiento en explantes cultivados *in vitro*. *Agronomía Costarricense*, 20(1), 153-175.
- Cáceres, K. (2006). Propagación *in vitro* de portainjertos de cerezo (*Prunus cerasus*). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV).
- George, E., Hall, M.A. & De Klerk, G. (2008). *Plant Propagation by Tissue Culture*. Vol. 1. 3 ed. Springer.
- Inkanatural. (2008). *Acai: Fruto amazónico para dieta*. Disponible en www.inkanatural.com/es/arti.asp
- Jiménez-Bonilla, V. & Abdelnour-Esquivel, A. (2013). Identificación y valor nutricional de algunos materiales nativos de arándano (*Vaccinium* spp). *Tecnología en Marcha*, 26(2), 38.
- López, E. (2004). *Reacciones de hipersensibilidad en plantas cultivadas in vitro*. *Estación Experimental de la Mayorca CSI*. Disponible en <http://www.Ciencias.uma.es/publicaciones/ENCUENTROS26/reacciones.html>
- Méndez-Álvarez, D. & Abdelnour-Esquivel, A. (2014). Méndez-Álvarez, D. Establecimiento *in vitro* de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)* Volumen 11(27): 7-21

Murashige T. & Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant*, 15, 473-497.

Niubó, E., Díaz, P., Oliva, O., Portieles, R., Díaz, A., Ancheta, O., Rodríguez, S., Soto, A. & Cecilia, S. (2004). Metodología para la obtención *in vitro* de plantas y tejidos de la caña de azúcar libre de contaminantes exófilos endófitos. *Ciencias Biológicas*, 35(3), 155-161. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181225915004>

PROCOMER. (2012). Portal estadístico de comercio exterior. Costa Rica. Disponible en <http://servicios.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>

Rathore, J.S., Rathore, M.S., Singh, M., Singh, R.P. & Shekhawat, N.S. (2007). *Micropropagation of mature tree of Citrus limon*. Disponible en <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/5026/1/IJBT%206%282%29%20239-244.pdf>

Evaluación electroquímica de soldaduras en tubos capilares de Incoloy 825

Electrochemical evaluation of Incoloy 825 welds tubs

Javier E. Rodríguez-Yáñez¹, Ericka Saborío-Leiva²,
Daniel Mora-Montoya³

Fecha de recepción: 17 de abril del 2015
Fecha de aprobación: 21 de agosto del 2015

Rodríguez-Yáñez, J; Saborío-Leiva, E; Mora-Montoya, D.
Evaluación electroquímica de soldaduras en tubos capilares
de Incoloy 825. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-
Junio 2016. Pág 85-94.

1 Ingeniero Químico. Investigador del Centro de Investigación en Corrosión, Instituto Costarricense de Electricidad. Apdo. 10032-1000, San José, Costa Rica; correo electrónico: urutico@gmail.com.

2 Ingeniera Metalúrgica. Investigadora del Centro de Investigación en Corrosión, Instituto Costarricense de Electricidad. Apdo. 10032-1000, San José, Costa Rica; correo electrónico: esaborio@ice.go.cr

3 Ingeniero en Materiales. Investigador de la Escuela de Ingeniería de Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Apdo. 159-7050, Cartago, Costa Rica.

Palabras clave

Incoloy 825; soldadura de orbital autógena; Tafel; geotermia; pozo ácido.

Resumen

La recuperación de los capilares de Incoloy 825 utilizados en pozos geotérmicos ácidos, por medio de soldadura orbital autógena, se evalúa en este estudio desde el punto de vista de su resistencia a la corrosión, en las condiciones de uso. El análisis se realiza por medio de técnicas electroquímicas básicas.

Se comparan los capilares soldados, con y sin tratamientos térmicos, respecto a capilares nuevos y usados.

La evaluación electroquímica indica la posibilidad de utilizar los capilares soldados de Incoloy 825 con tratamiento térmico para los pozos geotérmicos ácidos, desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión.

Keywords

Incoloy 825; orbital welding; Tafel; geothermal; acid well.

Abstract

The resistance of corrosion of Incoloy 825 capillaries used in acid geothermal wells, by orbital welding, was evaluate in the conditions of use. The study was performe by means of basic electrochemical techniques. Also was analyzed new and old capillary soldiers, with or without thermal treatments

Electrochemical evaluation indicates the possibility of using capillary of Incoloy 825 welded, whit heat treated, for acidic geothermal wells, from the viewpoint of corrosion.

Introducción

El uso de los recursos geotérmicos para generar electricidad se ha incrementado en los últimos 20 años en Costa Rica, teniendo como principal desarrollador al Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos (CSRG) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). El proceso implica la extracción de aguas y vapor sobrecalentados, mediante pozos en acuíferos profundos calentados por la actividad magmática. La estabilidad del proceso y su continuidad es una de las características principales de la generación geotérmica. Dicha estabilidad depende de las políticas de explotación y del control de fenómenos secundarios. En los pozos geotérmicos ácidos se utilizan disoluciones de hidróxido de sodio (NaOH) para neutralizar el fluido bifásico extraído, lo que aumenta el pH y disminuye la corrosión de los elementos del pozo (Mora Rodríguez, 2006).

Para aplicar dichos inhibidores se utilizan tubos capilares continuos de Incoloy 825, que resisten mejor las características fisicoquímicas de los fluidos geotérmicos con pH ácidos. La durabilidad de estos capilares depende de muchas variables pero en general se estima una vida útil de 6 a 10 meses. Los capilares que se pueden recuperar son los que presentan obstrucciones debido a la cristalización de la soda cáustica, no aquellos que fallan por esfuerzo o por corrosión bajo tensión (*stress corrosion cracking* o SCC). Sobre estos se propusieron metodologías de soldado

de dichos capilares y realizar ensayos comparativos respecto a un capilar nuevo y un capilar usado, mediante ensayos electroquímicos (Fontana, 1986; ASTM G 102-2010, 2010).

Materiales y métodos

Capilares

Los capilares de Incoloy 825 con un diámetro exterior de 9,54 mm y 1,58 mm de espesor que se utilizaron en los pozos ácidos del Campo Geotérmico Miravalles presentan la composición química descrita en la cuadro 1, según la información proporcionada por los proveedores del CSRG (Mora Rodríguez, 2006).

Previamente a la soldadura de los capilares se realizó una limpieza con acetona grado reactivo (95%) para la remoción de grasas o hidrocarburos, luego se lijaron los extremos a soldar con una lija No. 400 Mesh. Para dicha aleación no fue necesario un decapado, ya que la formación de óxidos superficiales es mínima (ASTM A 380-06, 2006).

Cuadro 1. Composición química porcentual de los capilares de Incoloy 825

Composición química porcentual (%)							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
0,03	0,5	0,8	21,5	40	3	1,7	0,8

Después de la limpieza y soldadura, las muestras se sometieron a tratamientos térmicos de alivio de tensiones a 410 °C y 955 °C, según lo descrito por el *International Metal Handbook* de la ASM (ASM, 1990). Los tratamientos térmicos (TT) se realizaron en un horno Lindberg Blue M 1200 °C, modelo número HTF55342C, durante 17 minutos. Se obtuvieron de esta manera dos capilares soldados a distintas temperaturas que se identificaron como *Soldado TT 410* y *Soldado TT 955*.

Los resultados se compararon con las muestras sin TT, considerando capilares nuevos (Nuevo), capilares usados en pozo (*Usado*) y capilares soldados (*Soldado sin TT*).

Disoluciones

Para el proceso de evaluación electroquímica, como electrolito para los capilares se utilizaron las disoluciones a las que están expuestos habitualmente en los pozos geotérmicos ácidos: solución de NaOH al 40% a partir de una disolución comercial de NaOH al 50% (m/v) y la salmuera ácida del pozo 02.

La salmuera del pozo 02 presenta una composición química ácida, con valores altos de cloruros y sulfatos. La composición de su fase líquida puede verse en la cuadro 2 (Mora Rodríguez, 2006).

Para el pulido electroquímico, previo a la evaluación metalográfica, se utilizó como reactivo de ataque ácido nítrico concentrado (60% y densidad de 1,37 g/cm³), marca J. T. Backer, mezclado con ácido acético glacial (99%) marca Panreac y agua destilada en proporción 2/1/17 (v/v), respectivamente. Para la disolución electrolítica se generó una mezcla de metanol absoluto (95%), marca J. T. Backer, y ácido perclórico (70% y densidad 1.67 g/cm³), marca Merck, en proporción 2/1 (v/v) (ASTM A 380-06, 2006; ASTM 407-07, 2007)

Todas las disoluciones fueron elaboradas con aguas de calidad tipo IV según la norma ASTM 1193-2001 (con conductividad menor a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH entre 5 y 8, así como concentraciones de Na y Cl menores a 50 mg/l) (ASTM D1193-06 (2011), 2011).

Cuadro 2. Composición de la salmuera ácida del pozo PGM N° 02, medidas de la fase líquida a 98 °C

Pozo	PGM-02
Fecha	29-nov-2011
pH	3,04
Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	12720
Na (ppm)	2471
K (ppm)	333
Ca (ppm)	39
Mg (ppm)	7,05
Fe total (ppm)	23,2
Cl (ppm)	4042
SO_4^{-2} (ppm)	315
HCO_3^- (ppm)	nd
F (ppm)	2,59
B (ppm)	69
H_2S (ppm)	2,04
NH_3 (ppm)	13,5
As (ppm)	10,5
SiO_2 monomérica (ppm)	538
SiO_2 total (ppm)	616
S.T.D (ppm)	8050

Nota: nd, no detectable.

Ensayos electroquímicos

La metodología utilizada para evaluar la corrosión es la siguiente (Fontana, 1986; González, 1989):

- Potencial de circuito abierto (E_{oc}), durante 10 minutos.
- Resistencia de polarización lineal (R_p), mediante la aplicación de un barrido de potencial a 10 mV/min entre -20 mV y +20 mV respecto a E_{oc} .
- Curvas de Tafel catódica y anódica, con un barrido de potencial de 50 mV/min, entre los -250 mV y los +250 mV, respecto a E_{oc} .

Las evaluaciones se realizaron a temperatura ambiente (20 °C), empleando un electrodo de referencia de AgCl/Ag y un contraelectrodo de platino (Pt). Todos los potenciales se indican con base en el electrodo de referencia.

Para hacer las mediciones electroquímicas se utilizó un potenciostato-galvanostato marca Gamry, modelo Reference 600.

Los valores de R_p se estiman gráficamente de la pendiente media en el rango de análisis.

Las pendientes de Tafel se calculan gráficamente en el rango lineal entre los (60 a 200) mV, respecto a E_{oc} , en cada rama de dichas curvas, considerando los valores más cercanos a valores cada 30 mV/dec, asociados a cada condición cinética de intercambio de electrones.

Las velocidades de corrosión (V_{corr}) se calculan a partir de los valores de R_p , las áreas geométricas expuestas y las pendientes de Tafel, según la ecuación general de Stern-Geary (ASTM G 102-2010, 2010; ASTM G5-2004, 2010; Bard & Faulkner, 2001).

Ecuación de Stern-Geary

$$j_{corr} = \frac{B}{A \times R_p}$$

donde:

R_p : es la resistencia a la polarización, en Ω

j_{corr} : es la densidad de corriente de corrosión en A/cm^2 (o $C/s\ cm^2$).

B: es la constante de Stern-Geary, que para cálculos simples se estima en 26 mV, que también puede calcularse como:

$$B = \frac{b_a \times b_c}{2.3(b_a + b_c)}$$

donde:

b_a : es la pendiente de Tafel de la zona anódica.

b_c : es la pendiente de Tafel de la zona catódica.

$$V_{corr} = \frac{K \times j_{corr} \times PM}{n \times F \times d}$$

donde:

A: es el área expuesta en cm^2

V_{corr} : es la velocidad de corrosión, expresada como pérdida de espesor en mm/año.

K: es la constante de transformación de unidades, $10\ mm/cm \times 31\ 536\ 000\ s/año$.

PM: es el peso molecular del metal en g/mol, 56 g/mol en Incoloy 825.

d: es la densidad del metal en g/cm^3 , 8,14 g/cm^3 en Incoloy 825.

Metalografías

Se hizo la evaluación metalográfica de los capilares de Incoloy 825, inspeccionando la soldadura, la zona afectada térmicamente y el material base. Las probetas fueron pulidas y atacadas electrolíticamente, usando como electrolito de pulido una disolución de metanol absoluto y ácido nítrico, indicada anteriormente, durante 15 segundos a 55 V. Como reactivo de ataque se utilizó una disolución de ácido acético, ácido nítrico y agua desionizada durante 40 segundos a 3 V. La evaluación se realizó utilizando un microscopio metalográfico marca Olympus, modelo GX41, y el *software* analizador de imágenes Paxit IA44, marca Leco (ASM, 1990).

Resultados y discusión

Ensayos electroquímicos

Se realizaron ensayos de corrosión de los capilares a las diferentes muestras indicadas, utilizando tres capilares diferentes para cada muestra tipo, a fin de determinar la variabilidad.

Los valores obtenidos en los ensayos electroquímicos con salmuera del pozo geotérmico ácido (pozo 02) se aprecian en la cuadro 3, mientras que para la disolución de NaOH al 40% se presentan en la cuadro 4. Estos son valores promedio de los distintos capilares evaluados, sin que se presentara una variabilidad significativa.

En general, desde el punto de vista termodinámico, se espera que el valor de E_{oc} no se desplace a potenciales más positivos; mientras que respecto a la cinética, se espera que los valores de R_p y de las pendientes de Tafel sean elevados, a fin de disminuir V_{corr} (Davies, 1998; Schweitzer, 1986).

En salmuera ácida

En la cuadro 3 se aprecia que los valores de E_{oc} de los capilares soldados (con y sin TT) se encuentran alrededor del valor del E_{oc} de un capilar nuevo.

En el caso de los capilares soldados y con TT, los potenciales de E_{oc} disminuyen con el aumento de la temperatura del tratamiento térmico y son más negativos que los capilares soldados y sin TT. Esto se relaciona con una mayor estabilidad termodinámica de los primeros.

Para el caso específico del capilar soldado con TT a 955 °C, los valores de potencial de E_{oc} son incluso inferiores a los potenciales de un capilar nuevo. El E_{oc} del capilar usado presenta un valor alto, probablemente asociado a la exposición en el pozo.

Para el caso de los valores de R_p en los sistemas de capilares soldados, con y sin TT, se obtienen valores similares para los tres tipos de capilares, aunque crecientes al aumentar la temperatura del tratamiento térmico. Además, estos son menores en comparación con los capilares nuevos o usados.

Cuadro 3. Ensayos con salmuera del pozo 02 sobre capilares de Incoloy 825 de 9,52 mm de diámetro, nuevos, usados, soldados con y sin tratamiento térmico

Muestra	E_{oc} (mV vs Ref)	R_p (Ohm)	$\beta_{cat.}$ (mV)	$\beta_{anód.}$ (mV)	A (cm ²)	j_{corr} (μA/cm ²)	V_{corr} (mm/ año)
Nuevo	-92,7	22.090	210	240	35,97	0,061	0,69
Usado	145,2	11.640	210	210	48,04	0,082	0,92
Soldada sin TT	-69,5	3.545	210	180	37,77	0,315	3,54
Soldado TT 410	-88,3	4.920	240	120	35,28	0,200	2,25
Soldado TT 955	-135,0	6.138	210	180	35,28	0,195	2,19

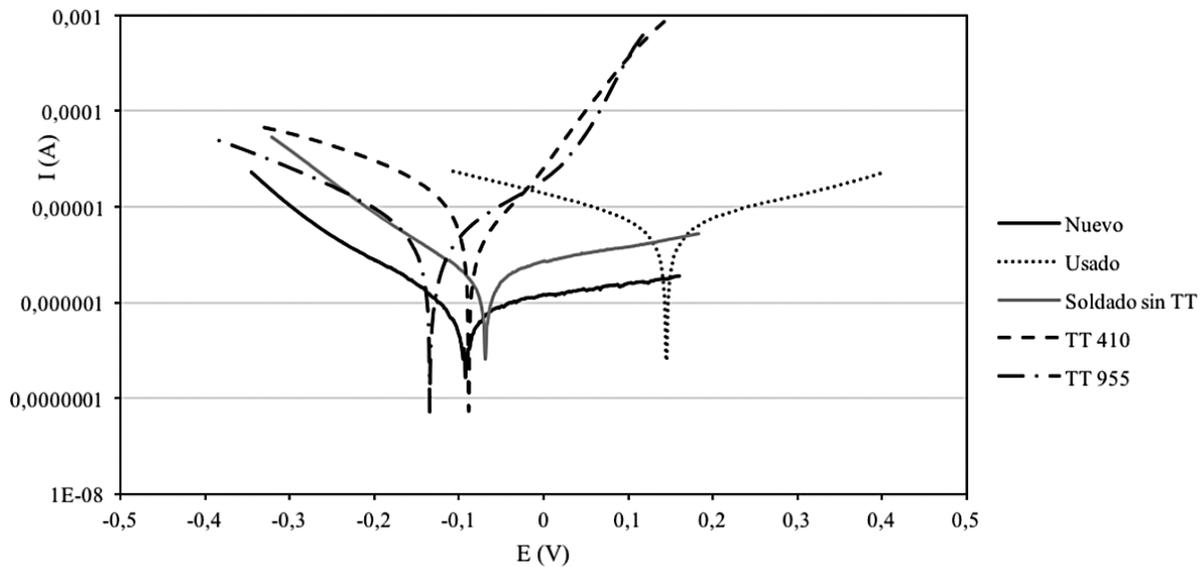


Figura 1. Curvas de Tafel para las distintas muestras evaluadas en salmuera del pozo 02, para Incoloy 825 de 9,52 mm de diámetro, línea continua capilar *Nuevo*, línea de rayas y puntos capilar *Usado*, línea gris capilar *Soldado sin TT*, línea de rayas capilar *Soldado con TT a 410°C* y línea de puntos capilar *Soldado con TT a 955°C*.

En las curvas de Tafel del cuadro 1 y la figura 1 se puede apreciar que las pendientes anódicas son menores para las curvas de los capilares soldados con y sin TT, especialmente hay una reducción importante para el TT a 410 °C, mientras que el valor de la pendiente catódica aumenta ligeramente solo en el capilar con TT a 410 °C. Estas variaciones son indicativas de que la soldadura afecta la reacción anódica, haciéndola más favorable sobre la superficie de la soldadura.

A partir de los datos anteriormente analizados se observa que los capilares usados presentan una V_{corr} similar al de un capilar nuevo, mientras que los capilares soldados (con y sin TT) presentan V_{corr} superiores a estos.

Los capilares soldados disminuyen ligeramente su V_{corr} con los tratamientos térmicos.

Frente a una disolución de salmuera ácida, los capilares de Incoloy 825 soldados con TT muestran una leve mejora general de la V_{corr} frente a capilar soldado sin TT, mejorando su E_{oc} y R_p , con poca variación, mientras que los valores de pendientes de Tafel son similares, afectando poco el valor de V_{corr} . Entre ellos el que presenta mejores resultados es el TT a 955 °C.

En solución de NaOH

Los ensayos electroquímicos desarrollados con la solución de NaOH al 40% (ver cuadro 4) muestran valores de E_{oc} similares para los capilares nuevos y los capilares soldados sin TT; mientras que el capilar usado presenta un E_{oc} menor, igual que el capilar con TT a 410 °C. Por su parte, el capilar con TT a 955 °C tiene un valor de E_{oc} mayor que el capilar nuevo, lo cual se asocia con una mayor estabilidad termodinámica de la soldadura.

Cuadro 4. Ensayos electroquímicos con NaOH al 40%, sobre capilares de Incoloy 825 de 9,52 mm de diámetro, nuevos, usados y soldados, con y sin TT

Muestra	E_{oc} (mV vs Ref)	R_p (Ohm)	β_{cat} (mV)	$\beta_{anód}$ (mV)	A (cm ²)	j_{corr} (μA/cm ²)	V_{corr} (mm/año)
Nuevo	-642,4	6.291	240	120	55,72	0,099	1,12
Usado	-398,0	7.983	270	180	50,23	0,117	1,32
Soldada sin TT	-684,4	3.935	270	270	32,79	0,455	5,11
Soldado TT 410	-275,3	10.180	270	240	37,77	0,144	1,61
Soldado TT 955	-1000,7	11.750	240	120	35,28	0,084	0,94

Los valores de R_p son similares para el capilar nuevo y el usado, pero resultan menores para el capilar soldado sin TT. Los capilares con TT aumentan el valor de R_p , siendo superiores que en un capilar nuevo y similares entre sí, aunque algo mayor para el TT a 955 °C.

Las pendientes catódicas de Tafel estimadas de la Figura 2 no varían mucho en los distintos capilares. En cambio, las pendientes anódicas son diferentes para cada situación, siendo elevadas en los capilares usados, los capilares soldados sin TT y con TT a 410 °C, mientras que son bajas para capilares nuevos y soldados con TT a 955 °C. Esto se puede relacionar con un aumento de la cinética de la reacción anódica sobre la superficie, al aumentar la temperatura del tratamiento térmico en la soldadura.

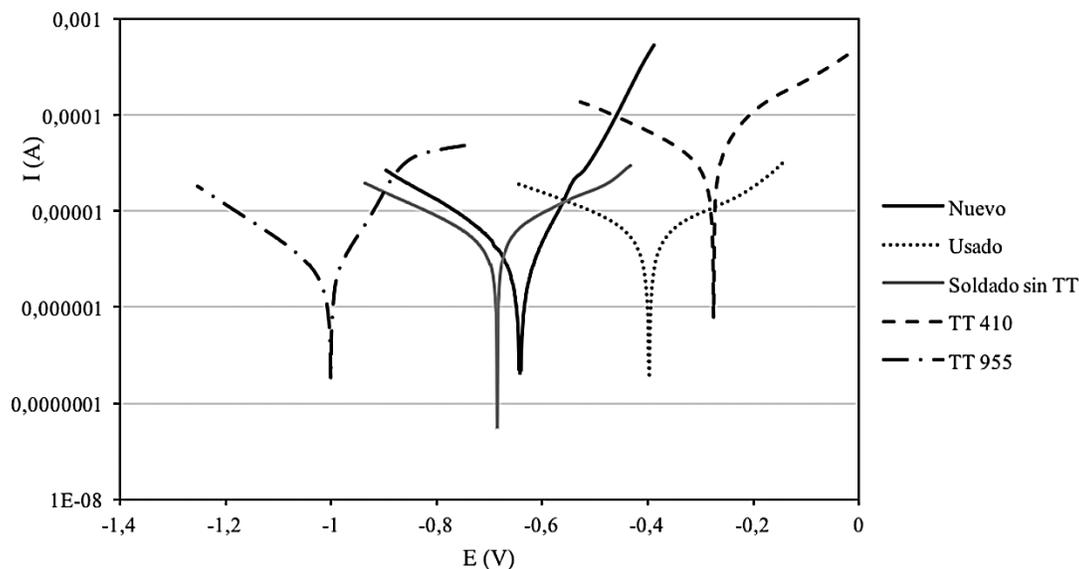


Figura 2. Curvas de Tafel para las distintas muestras evaluadas en NaOH 40 %, para Incoloy 825 de 9,52 mm de diámetro, línea continua capilar *Nuevo*, línea de rayas y puntos capilar *Usado*, línea gris capilar *Soldado sin TT*, línea de rayas capilar *Soldado con TT a 410 °C* y línea de puntos capilar *Soldado con TT a 955 °C*.

Los valores de V_{corr} indican que el capilar nuevo y el capilar usado tienen una muy baja velocidad de corrosión frente a la disolución de NaOH. Cuando se trata de capilares soldados, la V_{corr} aumenta notablemente, pero se aprecia una disminución de la velocidad de corrosión en los capilares al aplicar los tratamientos térmicos.

De tal manera que el tratamiento térmico a 410 °C aumenta el E_{oc} y el R_p , con pendientes de Tafel elevadas, lo que redonda en un V_{corr} menor al del capilar soldado sin TT. Mientras que el TT a 955 °C disminuye el E_{oc} y a la vez aumenta el R_p , lo que hace que la V_{corr} sea la menor de todos los sistemas analizados, aun frente al efecto de disminuir el valor de la pendiente de Tafel anódica.

Análisis metalográfico

Mediante análisis metalográfico se observa en la Figura 3 el capilar de Incoloy 825 previo al pulido electrolítico y al ataque, mostrando muy pocas inclusiones no metálicas. Posteriormente al ataque, se aprecia en la Figura 4 que la soldadura no produjo ningún precipitado de carburos de cromo en los límites de grano y que la estructura es de matriz austenítica, tanto para las soldaduras con tratamiento térmico como aquellas sin éste.



Figura 3. Soldadura en tubo capilar sin atacar, 50x.

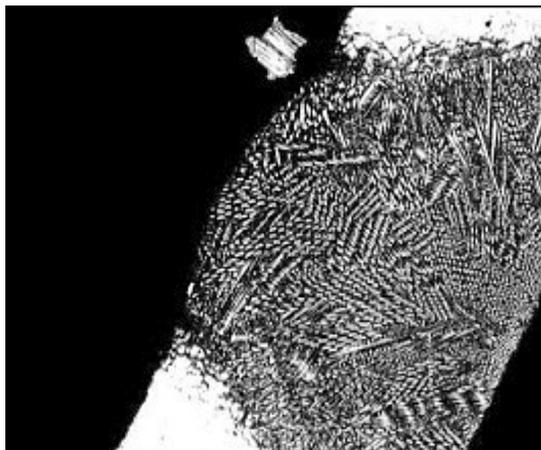


Figura 4. Soldadura en tubo capilar atacada con ácido acético, ácido nítrico y agua desionizada, 50x.

Conclusiones

Los ensayos electroquímicos en los dos medios de tratamiento (salmuera ácida del pozo 02 y NaOH) presentan valores de velocidad de corrosión del mismo orden de magnitud en capilares nuevos y usados. Paralelamente, se evidencia un efecto importante de los capilares soldados, donde el capilar soldado sin TT presenta valores de V_{corr} mayores que un capilar usado, pero la aplicación de los tratamientos térmicos disminuye la velocidad de corrosión, al aumentar la temperatura del tratamiento.

Estas variaciones de V_{corr} en la salmuera ácida (pozo 02) se asocian a una disminución del valor de E_{oc} , con oscilaciones en los valores de las pendientes de Tafel; mientras que en la disolución de NaOH se asocian a disminuciones de las pendientes de Tafel, en especial en la rama anódica con TT a 955 °C, pero donde el comportamiento de E_{oc} es variable.

La evaluación metalográfica indica que no se produce deposición de cromo o carburos en la región de la soldadura y áreas cercanas.

A través de esta investigación se plantea la factibilidad de usar capilares soldados con TT a 955 °C, en pozos geotérmicos ácidos para la adición de inhibidores, con la salvedad de que podrían tener una vida útil algo menor que un capilar nuevo, debido a la mayor V_{corr} de estos en las salmueras ácidas.

Debe analizarse la aplicación del TT respecto a su efecto sobre la reducción de tensiones debido a la soldadura, ya que el presente estudio solo se enfocó en la resistencia a la corrosión.

Agradecimientos

Se agradece de forma especial el apoyo brindado por el Centro de Servicios y Recursos Geotérmicos del ICE para el desarrollo de este proyecto.

Bibliografía

- ASM. (1990). *International Metal Handbook, Vol. 4. Heat Treating*. Cleveland, American Society for Metals.
- ASTM A 380-06. (2006). *Standard Practice for Clearing, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM 407-07. (2007). *Standard Practice for Microetching*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM G 102-2010. (2010). *Standard Practice form Calculation of Corrosion Rates adn Related Information from Electrochemical Measurements*. American Society for Testing and Materials. OJO: tienen la misma fecha, deben diferenciarse con a y b e incluir a y b en el texto.
- ASTM G5-2004. (2010). *Standard Reference Test Method form Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D1193-06 (2011). (2011). *Standard Specification for Reagent Water*. American Society for Testing and Materials.
- Bard, A. & Faulkner, L. (2001). *Electrochemical Methods*. New York: J. Wiley & Sons Cia.
- Davies, J. (1998). *Metals Handbook*. Ohio, EE.UU.: ASM International.
- Fontana, M. (1986). *Corrosion Engineering*. EE.UU.: 3 ed. Custom Publishing, Mac Graw Hill.
- González, J. (1989). *Control de la Corrosión: Estudio y Medida por Técnicas Electroquímicas*. Madrid: Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas.
- Mora Rodríguez, J. (2006). *Programa de control del tubo capilar usado en los pozos del Campo Geotérmico Miravalles*. Cartago, Costa Rica. Tesis de Maestría en Administración de la Ingeniería Electromecánica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Schweitzer, P.A. (1986). *Corrosion Resistance Tables*. EE.UU.: Marcel Dekker.

Potencial de fabricación de pellets de residuos forestales de *Cupressus lusitanica* y *Tectona grandis* en Costa Rica

Pellet manufacturing potential of forest residuals of *Cupressus lusitanica* and *Tectona grandis* in Costa Rica

Carolina Tenorio¹, Roger Moya², Jorre Valaert³,
Mario Tomazello-Filho⁴

Fecha de recepción: 20 de agosto del 2015
Fecha de aprobación: 18 de diciembre del 2015

Tenorio, C; Moya, R; Valaert, J; Tomazello-Filho, M. Potencial de fabricación de pellets de residuos forestales de *Cupressus lusitanica* y *Tectona grandis* en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 95-109.

1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. Teléfono: (506)2550-2266. Correo electrónico: ctenorio@itcr.ac.cr.

2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. Teléfono: (506)2550-2266. Correo electrónico: rmoya@itcr.ac.cr.

3 Agrep Forestal S.A. Costa Rica. Teléfono: (506)2474-7025. Correo electrónico: jorre@agrepforestal.com

4 Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, CEP 13418-900-Piracicaba, São Paulo Brasil. Correo electrónico: mtomazel@usp.br

Palabras clave

Eficiencia; calidad; rayos X; propiedades energéticas; físicas y mecánicas.

Resumen

En los procesos de transformación y aserrío de la madera se generan residuos que pueden usarse como fuentes de materia prima para la producción de pellets. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia, la calidad por imágenes de rayos X y las propiedades energéticas, físicas y mecánicas de pellets fabricados con residuos obtenidos del procesamiento de trozas de *Cupressus lusitanica* y *Tectona grandis*. Los resultados indicaron un porcentaje de eficiencia bajo para ambas especies forestales, con 25% para *C. lusitanica* y 20% para *T. grandis*. En la evaluación de calidad, los pellets de *C. lusitanica* se caracterizaron por poseer zonas de mayor claridad y pocas fisuras de corto tamaño en su superficie, mientras que en los de *T. grandis* se presenta un mayor número de zonas de mayor claridad, además de mostrar fisuras de mayor profundidad y largo. En relación con las propiedades evaluadas, se encontró que los pellets de *T. grandis* tienen una menor densidad aparente, menor PC, menor resistencia a la compresión y menor uniformidad en la densidad de su superficie y un porcentaje de cenizas, CH y durabilidad mecánica mayor, al compararlos con los de *C. lusitanica*.

Keywords

Efficiency; quality; X-rays; energetic; physical and mechanical properties.

Abstract

The process of transformation and sawmilling of sawlog generates residuals that can be used as sources of raw material for the production of pellets. The aim of this study was to evaluate the efficiency, pellet quality for x-ray photographic and the energetic, physical and mechanical properties of pellets fabricated from residuals obtained from processing sawlogs of *Cupressus lusitanica* and *Tectona grandis*. The results showed a percentage of low efficiency for both species, 25% for *C. lusitanica* and 20% for *T. grandis*. In the quality evaluation, pellets were found that pellet fabricated with *C. lusitanica* pellets is characterized by having high density areas (about 1300 kg m⁻³) and few cracks of short size on the surface. But the pellets of *T. grandis* residues present an irregular density (high and low density in the pellet) and present deeper and longer cracks. Regarding the properties evaluated, it was found that the pellets of *T. grandis* were characterized by having a lower apparent density, lower net calorific power, lower resistance to compression and lower uniformity in the density of its surface and a greater percentage of ash, moisture content and mechanical durability, if they are compared with pellets of *C. lusitanica*.

Introducción

En las últimas décadas ha aumentado la necesidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, y con esto se ha venido desarrollando una variedad de nuevas fuentes energéticas a nivel mundial (Razuan et al., 2011; Stelte et al., 2011a). En este sentido, ha surgido un mercado dedicado a la fabricación de biocombustibles con productos como pellets o briquetas (Stelte et al., 2011b; Lee et al., 2011).

Los pellets mejoran considerablemente las condiciones de la biomasa, dado que aumentan la densidad energética, ya que poseen bajos contenidos de humedad y de cenizas; disminuyen los costos de transporte y almacenamiento y permiten una estandarización de tamaños y composición, dando como resultado una mayor facilidad en la alimentación de hornos domésticos e industriales (Filbakk et al., 2011; Stelte et al., 2011c).

Por otra parte, los residuos (virutas, aserrín y astillas) producidos en aserraderos son las materias primas utilizadas hoy en día para la producción de pellets (Stelte et al., 2011c; Stahl & Berghel, 2011). *Cupressus lusitanica* y *Tectona grandis* son especies forestales de amplio uso en la reforestación comercial en Costa Rica, debido principalmente a la calidad de su madera y a su rápido crecimiento (Cornelius et al., 1996; Murillo et al., 2001). *C. lusitanica* se caracteriza por poseer altos valores de índice de combustibilidad y de PC, así como bajos contenidos de cenizas (Moya & Tenorio, 2013). Por su parte, *T. grandis* presenta valores de índice de combustibilidad y PC más bajos, sin embargo, posee un potencial energético importante debido a los altos volúmenes de desechos o residuos que se obtienen en las distintas industrias (Moya et al., 2014). Ambas especies tienen un proceso de combustión con etapas bastante definidas (pirólisis, ignición, fin de llama e inicio de incandescencia), lo que las hace aptas para procesos de combustión en los que se necesite generar calor (Tenorio & Moya, 2013).

En la actualidad, son muchas las investigaciones realizadas relacionadas con la producción de pellets y sus características a nivel mundial. Dichos estudios se concentran en diversos aspectos, tales como (i) procesos de fabricación (Nielsen et al., 2009a; Filbakk et al., 2011), (ii) mejora de las condiciones por agregar aditivos o bien tratar la biomasa antes o durante la fabricación de los pellets (Nielsen et al., 2009b; Stelte et al., 2011b) como, por ejemplo, la torrefacción (Stelte et al., 2011a); (iii) evaluación de la calidad de los pellets fabricados en aspectos energéticos, físicos, mecánicos y químicos (Bergström et al., 2008; Stahl & Berghel, 2011) y (iv) evaluación del proceso de combustión y de emisiones de los pellets (Lee et al., 2011).

En países de climas templados existe una amplia variedad de información acerca de las distintas especies utilizadas en el proceso de fabricación de pellets, así como de sus características. Sin embargo, este no es el caso de los países tropicales, donde se han estudiado pocas especies y se limitan apenas a eucalipto o pinos tropicales (Soto & Núñez, 2008). En Costa Rica, los pellets han ganado popularidad, dado que algunas industrias buscan la conversión de la producción de calor de fuentes fósiles a fuentes de carácter renovable, para así alcanzar el carbono-neutralidad.

Sin embargo, estas empresas hasta el momento no cuentan con el conocimiento sobre las propiedades de las especies que se podrían utilizar en la fabricación de los pellets ni sus características de procesamiento. El uso de los residuos obtenidos en el procesamiento de la madera de especies como *C. lusitanica* y *T. grandis* es una opción para producir energía a través de procesos de combustión de pellets en Costa Rica. Es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los residuos industriales obtenidos del procesamiento de trozas de estas dos especies en la producción de pellets de 6 mm de diámetro, y evaluar las características de los pellets obtenidos de acuerdo con cuatro aspectos: propiedades energéticas (poder calórico, cenizas y contenido de humedad), propiedades físicas (largo, diámetro, densidad, densidad aparente y absorción), propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, durabilidad) y la calidad del pellet por radiografía de rayos X y la variación de la densidad por densitometría de rayos X.

Materiales y métodos

Materiales y procedencia

Se utilizaron residuos maderables de *C. lusitanica* y de *T. grandis*. Los residuos de *C. lusitanica* se tomaron del proceso de aserrío del aserradero propiedad de Alfredo Orozco, ubicado en la provincia de Cartago (Costa Rica), mientras que los de *T. grandis* provinieron de la Industria Maderera Abancarí, ubicada en la provincia de Guanacaste (Costa Rica). Dichos residuos estaban formados por despuntes, costillas y los sobrantes del reaserrío de las trozas.

Proceso de fabricación de los pellets y eficiencia en el proceso

El proceso de producción de los pellets se llevó a cabo en la empresa PELLETICS (<http://pelletics.com/>), ubicada en Muelle de San Carlos en la provincia de Alajuela (Costa Rica). La Figura 1 presenta el proceso de fabricación de los pellets, desde el momento en que el material (costillas, despuntes, sobrantes de reaserrío) llega a la planta hasta el peletizado. Dicho proceso puede consultarse en Aragón-Garita et al. (2016).

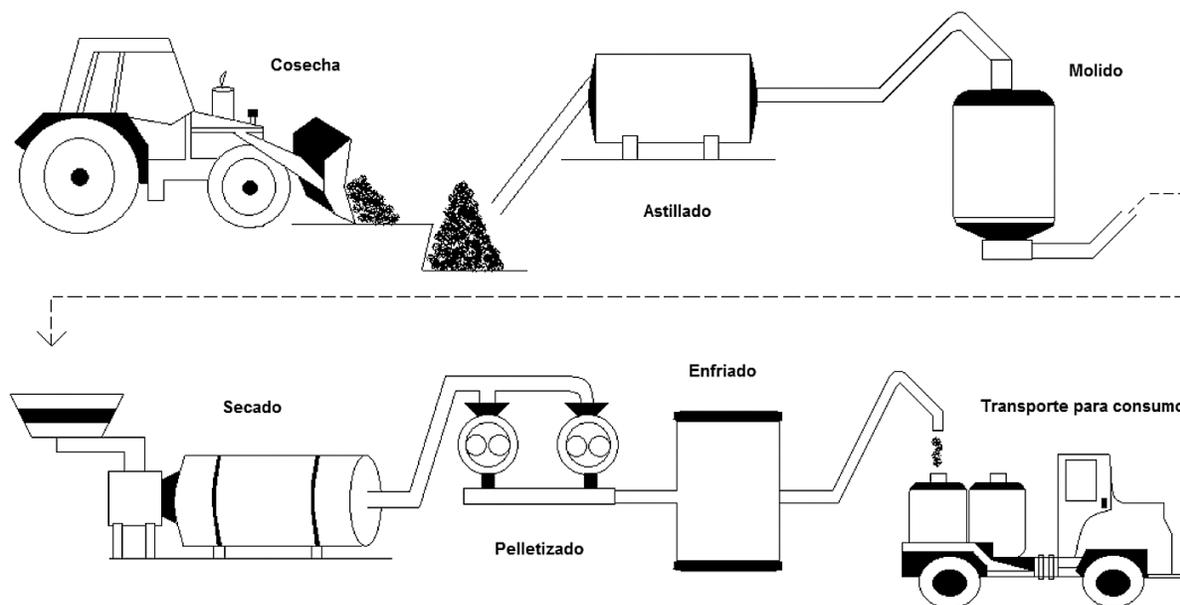


Figura 1. Proceso de fabricación de pellet (Aragón-Garita et al., 2016)

Los residuos obtenidos en el proceso de aserrío fueron astillados utilizando una astilladora marca JENZ, modelo AZ 50. Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de molido del material astillado, utilizando una matriz de anillo fijo con agujeros de 15 mm de diámetro, marca KAHL. El material granulado fue secado hasta un contenido de humedad de 8% para *C. lusitanica* y de 14% para *T. grandis*, utilizando un tambor rotatorio (12 m de longitud x 3 m de largo) calentado con aire caliente a 400 °C. Por último, el proceso de peletizado se efectuó en una máquina marca KAHL, modelo 35780, que consta de una matriz de anillo fijo de 780 mm de diámetro, con agujeros de 6 mm de diámetro y 30 mm de largo, con tres rodillos cilíndricos giratorios, la cual alcanza una temperatura durante el proceso de 120 °C.

La eficiencia se refiere a la cantidad en peso de las partículas que ingresan al proceso de peletizado y la cantidad de pellets (peso) que se obtienen con un tamaño superior a 4,75 mm.

Para determinar el porcentaje de eficiencia del proceso, se pesaron todas las partículas secas (astillas) antes de ingresar al peletizado y luego se recogió y tamizó todo el material peletizado en una malla de 4,75 mm (malla No. 4). Se pesaron los pellets resultantes con tamaños mayores al mencionado. La eficiencia fue determinada por la proporción del peso real de los pellets entre el peso de las partículas antes de ingresar a la peletizadora.

Evaluación de los pellets

Evaluación de la calidad y densidad de los pellets

La calidad fue analizada mediante la presencia de fisuras en el pellet y para ello se utilizaron imágenes de rayos X. Dichas imágenes de rayos X para el estudio de calidad del pellet se realizaron con un equipo marca Hewlett Packard, modelo Faxitron LX-60, con una distancia de 12 cm entre la fuente de rayos X y las muestras. Las condiciones de exposición fueron de 15 segundos a una tensión de 30 KV en el tubo.

Determinación de las propiedades energéticas

El poder calórico (PC) se determinó sin presencia de agua (0% CH) y se definió como PC neto. Para esta determinación se utilizaron 10 pellets, seleccionados de manera aleatoria entre los pellets fabricados, con un peso de aproximadamente 0,60 g. La determinación del PC se determinó usando la prueba calorimétrica de Parr's mediante la norma ASTM D-5865 (ASTM, 2003a). En relación con el porcentaje de cenizas, se tomaron aleatoriamente de los pellets fabricados 10 muestras de pellets de 2 g y se llevó a cabo el procedimiento detallado en la norma ASTM D 1102-84 (ASTM, 2003b). El contenido de humedad (CH) de los pellets fue determinado utilizando una balanza de humedad modelo MB45, marca OHAUS, que define la humedad con relación al peso inicial.

Determinación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas determinadas fueron largo y diámetro del pellet, porcentaje de absorción agua, densidad aparente, cantidad de pellets en 100 gramos y la variación en sentido longitudinal y transversal de los pellets por densitometría de rayos X. Para determinar el largo, diámetro y absorción de humedad se utilizó una muestra representativa de 30 pellets, y para la cantidad de pellets en 100 gramos se utilizaron 10 muestras. Para la determinación del porcentaje de absorción de humedad, se colocaron los pellets en un desecador con una solución saturada de nitrato de potasio a 22 °C (CH de equilibrio de 21%). Los pellets se pesaron semanalmente hasta que tuvieran un peso constante. Las muestras se pesaron antes y después de este período. El porcentaje de absorción se calculó de acuerdo con la ecuación 1:

$$\text{Absorción de humedad} = \frac{\text{peso al 21\%} - \text{peso inicial}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad (1)$$

En la determinación de la densidad aparente, se tomó un *beaker* de 500 ml y se le fueron agregando poco a poco pequeñas cantidades de pellets hasta completar los 500 ml; finalmente, se determinó el peso de los pellets que ocupaban dicho volumen. La densidad aparente se determinó mediante la relación entre el peso y el volumen que ocupaban los pellets.

En cuanto a la variación de la densidad por densitometría de rayos X en sentido longitudinal y transversal, se utilizó una muestra de 10 pellets, mediante un escáner de rayos X marca Quintek Measurement Systems Inc., modelo QTRS-01X. Las condiciones de exposición se realizaron a una tensión de 7 KV en el tubo y se hicieron lecturas de densidad durante 1 segundo cada 40 µm. Los pellets fueron acondicionados a un CH de 12% y posteriormente se les determinó el peso, diámetro y largo, para el cálculo de su densidad real. Seguidamente, las muestras por cultivo se colocaron de manera horizontal sobre el soporte incluido por el equipo y se radiografiaron

con el fin de determinar su perfil de densidad en sentido longitudinal. En la determinación de densidad en sentido transversal, se cortaron secciones transversales del pellet a un espesor de unos 1,80 mm y también se radiografiaron. La densidad del pellet se determinó usando un escáner de rayos X (Quintek Measurement Systems Inc., QTRS-01X).

Determinación de las propiedades mecánicas

Las pruebas mecánicas que se determinaron fueron la durabilidad mecánica, la resistencia a la compresión y la friabilidad. Para el cálculo de la durabilidad mecánica se utilizó la norma DD CENT/TS 15210-1:2005 (BSI, 2005). Para este ensayo se tomaron 10 muestras representativas de 500 gramos de pellets, los cuales se tamizaron en un tamiz con un tamaño de abertura de 3,36 mm para eliminar las partículas finas. Las muestras tamizadas se colocaron en el equipo propuesto por la norma a una velocidad de 50 rpm durante 10 min. Posteriormente se retiró la muestra y se volvió a tamizar y pesar. La durabilidad se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\text{Durabilidad mecánica (\%)} = \frac{\text{peso pellets antes del ensayo (g)}}{\text{peso pellets después del ensayo (g)}} \times 100 \quad (2)$$

Para determinar la resistencia a la compresión se seleccionaron aleatoriamente 10 pellets con una longitud aproximada de 13 mm. Dicha prueba se realizó en sentido lateral del pellet, de acuerdo con la metodología propuesta por Aarseth y Prestlokken (2003). En esta prueba se aplica la carga de compresión a una velocidad de 0,02 mm/s. Se reporta la carga vs la deformación del pellet y el esfuerzo máximo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{fuerza}}{\text{area}} \quad (3)$$

Análisis estadístico

Se desarrolló un análisis descriptivo (media, desviación estándar, valores máximos y mínimos) para las variables involucradas: largo y diámetro de pellets, PC, cenizas, CH, densidad aparente, porcentaje de absorción, durabilidad, esfuerzo de compresión y densidad longitudinal y transversal. Además, se verificó si las variables cumplían con los supuestos de la distribución normal, homogeneidad de las varianzas, así como la presencia de datos extremos. Se aplicó el procedimiento de análisis de varianza (IBM SPSS Statistics) para verificar la existencia de diferencias significativas entre los promedios de las variables ($P < 0.05$) y se realizó la prueba de Tukey para determinar las diferencias estadísticas entre las medias.

En cuanto a los valores de densidad por rayos X, los valores brindados por el equipo fueron corregidos con la densidad promedio real del pellet, previamente determinada por la medición de su peso, largo y diámetro. Se determinó un factor de corrección (ecuación 4) y se corrigió la densidad con la ayuda de la ecuación 5. Con los valores de la densidad corregida se construyeron los perfiles de densidad en sentido longitudinal y transversal, con el fin de establecer patrones de variación.

$$\text{Factor de corrección} = \text{Densidad promedio} - \text{Densidad real} \quad (4)$$

$$\text{Densidad corregida} = \text{Densidad promedio} - \text{Factor de corrección} \quad (5)$$

Resultados

Eficiencia del proceso de peletizado

La eficiencia del proceso de peletizado (relación entre la cantidad de pellets producidos y el peso de las partículas antes de peletizar) para *C. lusitanica* fue de un 25% y en *T. grandis* el porcentaje fue menor, de un 20%.

Evaluación de calidad

La evaluación de calidad, utilizando imágenes de rayos X, muestra que los pellets de ambas especies tienen algunas irregularidades o fisuras en su superficie y se observan zonas de mayor claridad, en forma de puntos o manchas blancas (Fig. 2). Los pellets de *C. lusitanica* (Fig. 2a,b) se caracterizan por poseer zonas de mayor claridad y pocas fisuras de corto tamaño en su superficie. Pero se observó que en la superficie de los pellets de *T. grandis* se presenta un mayor número de zonas de mayor claridad, además de fisuras de mayor profundidad y largo (Fig. 2c,d).

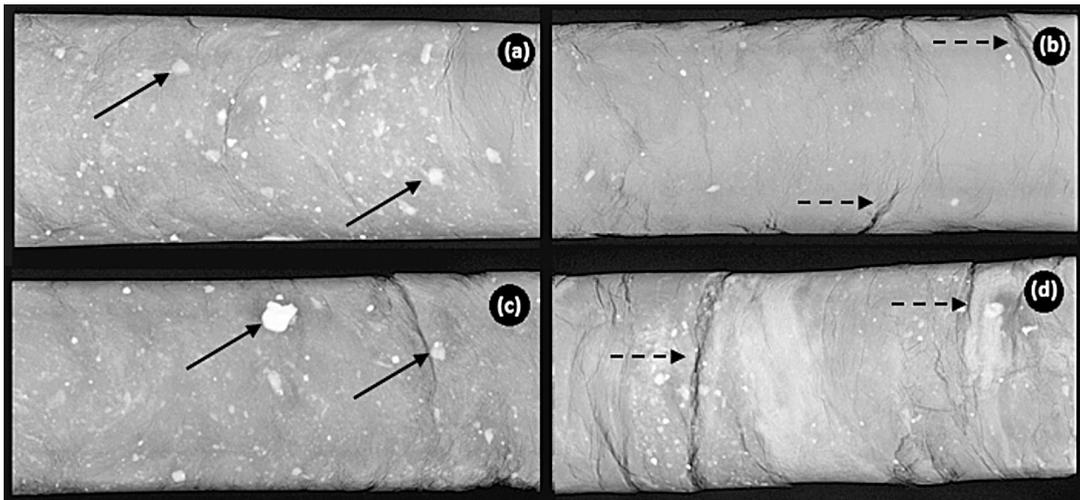


Figura 2. Fotografía de rayos X de pellet de *Gmelina arborea* (a-b) y *Tectona grandis* (c-d). Nota: El marcador —> indica la presencia de fisuras en la superficie y el marcador ---> el área más clara.

Propiedades energéticas, físicas y mecánicas de los pellets

Las propiedades energéticas, físicas y mecánicas de los pellets se muestran en el Cuadro 2 y las Figuras 2, 3 y 4. Se observa que en los parámetros evaluados se presentaron diferencias estadísticas entre las especies, con excepción del diámetro y de los valores de densidad real transversal y longitudinal (Fig. 4). Además de estas diferencias en los valores promedios, también se observa una diferencia en el coeficiente de variación (CV) de los parámetros. En el caso de las propiedades energéticas, *T. grandis* presenta valores de CV menores a 3,67%, pero en *C. lusitanica* hay una alta variación, especialmente en el CH y el PC (Cuadro 2).

En la evaluación de las propiedades físicas, en el parámetro del largo se encontró que los pellets de *C. lusitanica* tuvieron un diámetro y largo promedio de 6,16 mm y 27,27 cm, respectivamente; mientras que para *T. grandis* se obtuvo un diámetro promedio de 6,21 mm y un largo de 19,78 cm (Cuadro 2 y Fig. 3). En el caso del diámetro, no se presentó diferencia significativa entre las especies; mientras que en el largo sí hubo diferencias, no solo en el promedio (Cuadro 2) sino también en la distribución de los largos y en su variación (Fig. 3a,b). En *C. lusitanica* (Fig.

3a), la distribución de los largos de los pellets mostró que un alto porcentaje (aproximadamente 76%) presenta longitudes de entre 20,5 a 32,5 cm, mientras que en un bajo porcentaje estos son menores a 20,5 cm. La distribución del largo de los pellets de *T. grandis* demostró que un alto porcentaje (cerca del 90%) tiene de 15,5 cm a 24,5 cm (Fig. 3b), mientras que el resto se ubica entre 24,5 y 30,5 mm. Con relación a la variación del largo, se observa que en los pellets de *C. lusitanica* es mayor, de 17,5 cm a 38,5 cm; mientras que para *T. grandis* se sitúa entre 15,5 cm y 30,5 cm.

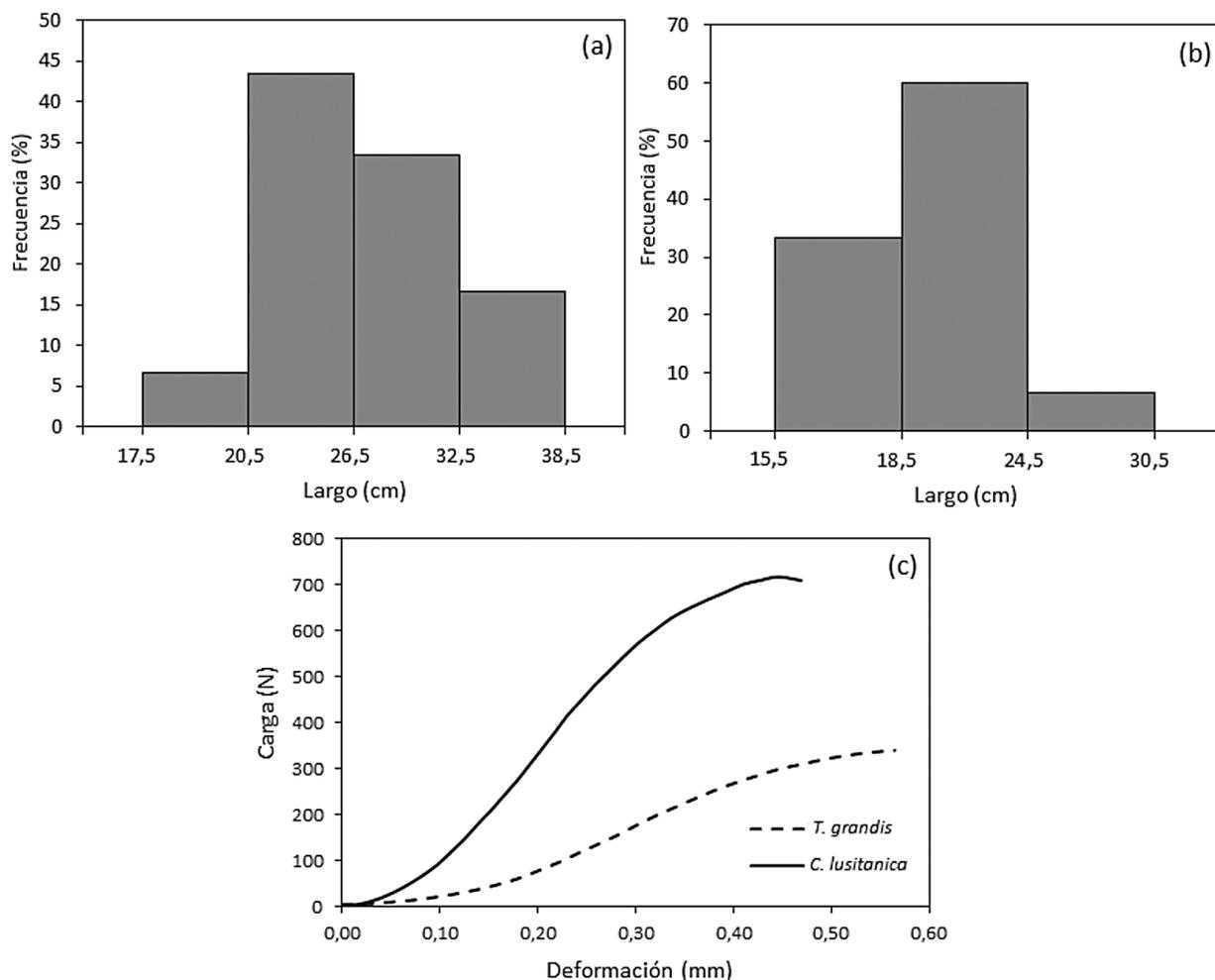


Figura 3. Distribución de largos para los pellets de (a) *C. lusitanica* y (b) *T. grandis*, y (c) gráficos de carga vs deformación para los pellets.

Para el CH, el valor de *C. lusitanica* fue estadísticamente menor que el obtenido en *T. grandis* (Cuadro 2). La capacidad de absorción y la densidad aparente en los pellets de *C. lusitanica* son estadísticamente mayores que los de *T. grandis*.

Al evaluar la densidad por densitometría de rayos X en los pellets, se encontró que el promedio tanto en sentido transversal como longitudinal de *C. lusitanica* fue estadísticamente superior al valor de densidad de *T. grandis* (Cuadro 2). Así mismo, la variación de la densidad, medida por el coeficiente de variación, en los pellets de *T. grandis* fue mayor en comparación con los de *C. lusitanica* (Cuadro 2). Este comportamiento puede observarse por los perfiles de variación

de la densidad (Fig. 4). Los pellets de *C. lusitanica* presentaron mayor uniformidad que los de *T. grandis*. Esto significa que en *C. lusitanica* la densidad es similar, tanto en el sentido del diámetro como en la longitud (Fig. 4a,b) y, por el contrario, los pellets de *T. grandis* presentan una mayor variabilidad en estos dos sentidos (Fig. 4c,d). Finalmente, se encontró que las regiones más claras coinciden con los valores más altos de densidad (Fig. 4c).

En cuanto a las propiedades mecánicas, el esfuerzo en compresión y la fuerza de ruptura para los pellets de *C. lusitanica* fueron estadísticamente superiores a los de *T. grandis*. Dicho comportamiento puede observarse en la curvas de carga vs deformación, donde los pellets de *C. lusitanica* requieren una mayor carga para lograr la misma deformación en comparación con los de *T. grandis*. (Fig. 3c). En los parámetros de durabilidad, por el contrario, *C. lusitanica* presenta menor valor que en *T. grandis* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades energéticas, físicas y mecánicas obtenidas para los pellets de *C. lusitanica* y *T. grandis*.

Propiedades	Parámetro	Cupressus lusitanica	Tectona grandis
Energéticas	Poder calórico (kJ/kg)	16807,20A (7,87)	15261,19B (2,31)
	Porcentaje de cenizas (%)	1,03A (0,28)	3,24B (0,23)
	Contenido de humedad (%)	7,50A (16,25)	12,06B (3,67)
Físicas	Largo del pellet (mm)	27,27 (18,34)A	19,78 (12,56)B
	Diámetro del pellet (mm)	6,16 (1,19)A	6,21 (2,94)A
	Absorción de humedad (%)	9,31A (13,65)	3,76B (21,46)
	Densidad aparente (kg/m ³)	550,00A (3,38)	380,00B (3,66)
	Densidad real transversal (kg/m ³)	1207,86A (5,16)	1135,66A (7,71)
	Densidad real longitudinal (kg/m ³)	1207,86A (4,33)	1135,66A (6,99)
Mecánicas	Esfuerzo de compresión (kg/cm ²)	48,93A (19,01)	21,79B (17,17)
	Fuerza de ruptura (N)	737,83A (25,12)	393,66B (16,49)
	Durabilidad mecánica (%)	84,74A (1,98)	92,08B (1,42)

Nota: los números entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación. Las letras diferentes significan diferencias estadísticas a un $\alpha = 0,05$.

Discusión de resultados

Eficiencia del proceso de peletizado

Los bajos porcentajes de eficiencia encontrada (25% en *C. lusitanica* y 20% en *T. grandis*) podrían estar relacionados con múltiples factores. Uno de ellos, y quizás el más importante, es la utilización de matrices adecuadas. Theerarattanoona et al. (2011) indican que el tamaño de los rodillos y el diámetro de los agujeros de la matriz poseen un efecto en el resultado final del proceso de peletizado, pues influyen la presión y fuerza con que el material granulado entra y se comprime en la matriz y, por lo tanto, en la cantidad de material molido que se convierte en pellet. Otros factores que también pueden influenciar la eficiencia del proceso de peletizado son el tamaño y CH de las partículas, los cuales influyen en la forma en que las partículas que conforman los pellets se unen (Carone et al., 2011; Filbakk et al., 2011, Nielsen et al., 2009a; Larsson et al., 2008). Bajos CH pueden provocar temperaturas muy altas en la matriz, causando

una rápida descomposición térmica en la superficie de los pellets, lo que resulta en problemas de peletizado (Larsson et al., 2008). Por el contrario, si el CH es muy alto, los pellets tienden a desmoronarse, como consecuencia de la excesiva presión interna del vapor generado en su interior (Rhén et al., 2005; Nielsen et al., 2009a). De forma que es necesario que el material astillado posea un CH óptimo, considerado entre 9% y 12% (Bergstrom et al., 2008). En el caso de *C. lusitanica*, el CH del material astillado fue de aproximadamente 8%, que se encuentra por debajo del rango óptimo y podría ser el causante de la baja eficiencia. De igual forma para *T. grandis*, cuyo CH del material astillado fue de 14%, valor que supera el rango óptimo, lo que provocó que muchos de los pellets se desmoronaran y eso afectara la eficiencia del proceso.

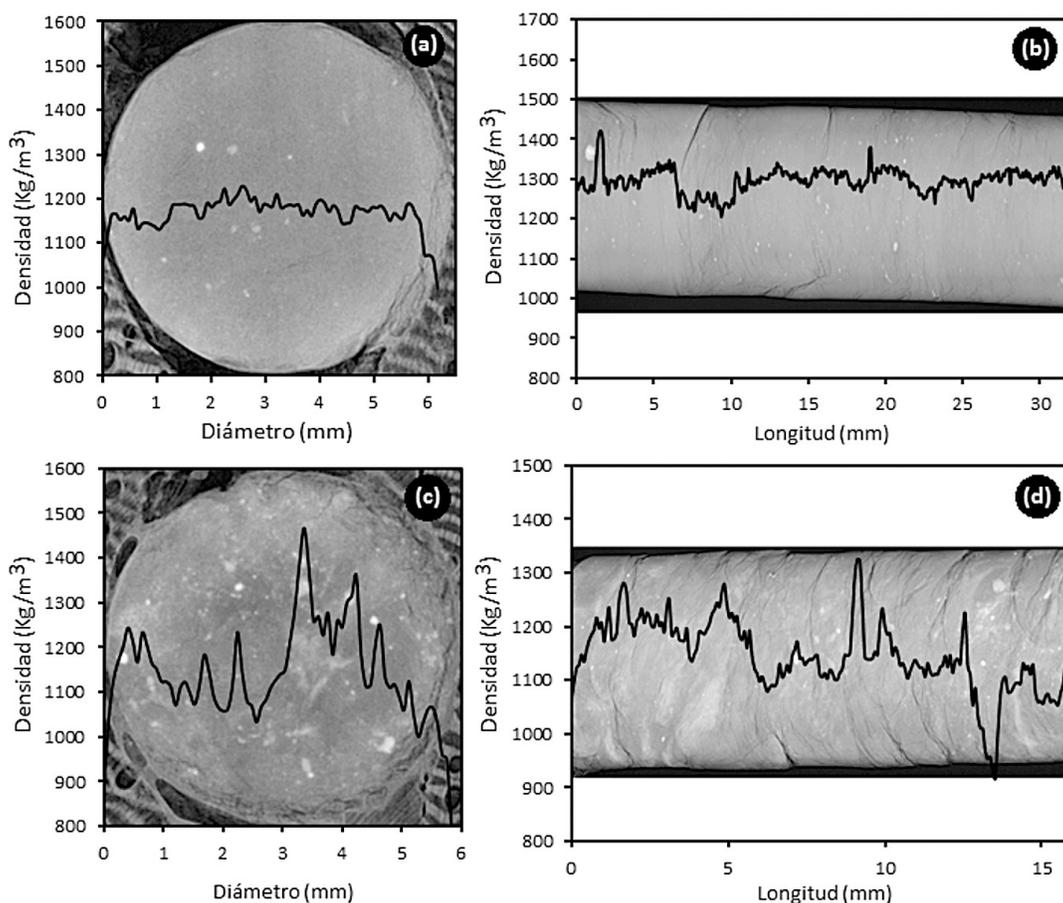


Figura 4. Variación de la densidad (a) transversal y (b) longitudinal de los pellets de *C. lusitanica* y (c) transversal y (d) longitudinal de los de *T. grandis*.

De acuerdo con los resultados anteriores y para lograr una mayor eficiencia en el proceso de peletizado, es necesario controlar el CH del material antes de peletizar. Según diversos autores, este valor óptimo puede variar de acuerdo con el tipo de especie y los ajustes utilizados en el proceso de producción (Bergstrom et al., 2008; Lee et al., 2013). Para las especies que se usaron en este estudio, un CH de entre 10% y 12% sería considerado óptimo utilizando la matriz de 6 mm; este CH mejoraría la calidad de los pellets y, por lo tanto, su eficiencia.

Evaluación de la calidad de los pellets

Un parámetro relevante en la calidad del pellet es la presencia de fisuras en la superficie, ya que representan la susceptibilidad a la rotura (Stelte et al., 2011b). En este estudio se determinó que tanto los pellets de *C. lusitanica* como los de *T. grandis* presentaron fisuras en su superficie, sin embargo, en esta última eran de mayor tamaño y profundidad (Fig. 4), por lo que es posible que sean susceptibles a la rotura. No obstante, este parámetro no está correlacionado con la durabilidad mecánica de los pellets, porque los de *T. grandis* presentaron una durabilidad mecánica mayor que los de *C. lusitanica*. Sin embargo, parece ser que la calidad del pellet sí tiene un efecto en los parámetros de compresión, ya que los pellets de *C. lusitanica* presentaron una mayor resistencia a la compresión que los de *T. grandis* (Cuadro 2).

La calidad superficial de los pellets está relacionada con el CH del material antes de peletizar (Fasina, 2008; Theerarattananoona et al., 2011). Fasina (2008) menciona que la humedad de las partículas al momento de peletizar fortalece los enlaces entre partículas, pero cuando la humedad no es apropiada disminuye la fuerza capilar entre partículas, lo que da como resultado poca unión en la estructura del pellet y eso genera grietas. Como se mencionó anteriormente, ninguna de las dos especies evaluadas presenta un CH del material astillado dentro del rango señalado (9% a 12%), de ahí que ambas presenten fisuras.

Otro aspecto importante que se ha señalado en la calidad del pellet es la presencia de zonas de mayor claridad (Fig. 2), que están asociadas a una alta densidad, como es el caso de los pellets de *T. grandis* (Fig. 4c,d). Dichas regiones son producto de la variación estructural y de tamaño de las partículas granuladas y de las características de presión y fuerza propias del proceso de peletizado (Mani et al., 2006a).

Evaluación de las propiedades energéticas, físicas y mecánicas de los pellets

Uno de los parámetros más importantes para caracterizar una sustancia como combustible es el PC, ya que se refiere a la cantidad de unidades de energía producida por la combustión de una unidad de masa de un combustible (Telmo & Lousada 2011). Telmo y Lousada (2011) señalan valores de PC para pellets de maderas suaves, como *Cedrus atlantica*, en el rango de 19660,02 kJ/kg a 20360,45 kJ/kg, y para pellets de maderas duras, como *Fagus sylvatica*, de 17631,66 kJ/kg a 20809,47 kJ/kg. Para este estudio, tanto los pellets de *C. lusitanica* como los de *T. grandis* presentaron valores de PC menores a los señalados por estos autores (Cuadro 2). De acuerdo con la norma ASTM D-5865 (ASTM, 2003a) el PC de los pellets debe ser de alrededor de 11591 kJ/kg, valor más bajo que el obtenido para los pellets de *C. lusitanica* y *T. grandis* en este estudio. Sin embargo, los requerimientos de las normas europeas en cuanto al PC son más altos, y establecen valores de PC en un rango de 17,500 a 19,500 kJ/kg (FAO, 2012), de forma que los pellets fabricados en este estudio no satisfacen las exigencias de los estándares de las normas europeas.

Las diferencias de PC entre *C. lusitanica* y *T. grandis* podrían explicarse por las características propias de las especies. Al respecto, algunos estudios indican que especies con altos contenidos de resinas y extractivos tienden a presentar valores altos de PC (Demirbas, 2009; White, 1987). *C. lusitanica*, al ser una conífera, se conoce por sus altos contenidos de extractivos, lo que se traduce en un potencial calorífico mayor al de *T. grandis*.

El contenido de cenizas en la madera también es una característica importante que afecta la capacidad de combustión de una sustancia. Una alta cantidad de cenizas en la madera la hace menos deseable como combustible (Jain & Singh 1999; Kataki & Konwar 2002; Kumar et al., 2009); además cuando el porcentaje de cenizas supera el 4% puede conducir a la corrosión de los quemadores o calderas y causar el desgaste de los equipos por abrasión (Mande, 2009). Los contenidos de cenizas obtenidos para ambas especies (Cuadro 2) determinados mediante la norma ASTM D-1102-84 (ASTM, 2003b) no cumplen con el 0,5% permitido por la norma DIN

51731 (Stolarski, 2007). En este caso, los pellets de *C. lusitanica* presentaron un porcentaje de cenizas menor al de los de *T. grandis* (Cuadro 2), lo que se traduce en un PC mayor.

Existen muchas opiniones acerca del CH que deben tener los pellets para presentar un buen desempeño; usualmente contienen entre 8% y 12% (Lehtikangas, 2001; Kaliyan & Morey, 2009). El CH de los pellets fabricados en este estudio se encuentra cercano al rango señalado. Los pellets de *C. lusitanica* obtuvieron un CH de 7,50% y los de *T. grandis* de 12,06%. Las diferencias encontradas entre los CH de los pellets de las especies es el resultado del CH del material granulado antes de peletizar y del proceso de peletizado (Lehtikangas, 2001; Rhén et al., 2005). En este caso, tanto los pellets de *C. lusitanica* como los de *T. grandis* se fabricaron bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, mientras que el material granulado de *T. grandis* presentaba un CH mayor al de *C. lusitanica*, de modo que al final del proceso, el alto CH del material granulado de *T. grandis* le provocó a sus pellets un CH más alto que al de los de *C. lusitanica*.

En relación con la capacidad de absorción de agua, Fasina (2008), en un estudio de pellets, señala que el punto óptimo de absorción de humedad es de 3% a 5%, y que un aumento adicional de la humedad absorbida podría resultar en una disminución de sus características de calidad y fuerza. La capacidad de absorción obtenida en este caso para *C. lusitanica* fue de 9,31% y de 3,76% para *T. grandis* (Cuadro 2), lo que significa que los pellets de *T. grandis* se encuentran dentro del rango señalado, caso contrario a los de *C. lusitanica*, que poseen una capacidad de absorción mayor. Por otra parte, las diferencias en la capacidad de absorción de agua entre las especies pueden explicarse por los CH que poseen los pellets; aquellos con CH altos tienden a absorber una menor cantidad de agua, mientras que los de CH bajos tienden a absorber más.

En el caso específico de *C. lusitanica*, la densidad aparente (550 kg/m^3) puede considerarse normal según los datos reportados por Theererattanoona et al., (2011) para pellets fabricados de rastrojo de maíz, pajas de trigo y tallos de sorgo, para los cuales se señala una variación de 479 kg/m^3 a 649 kg/m^3 , pero en *T. grandis* el valor obtenido (380 kg/m^3) es inferior a lo mencionado por dichos autores. Las diferencias entre la densidad aparente de *C. lusitanica* y *T. grandis* se pueden explicar por dos aspectos: (i) el peso específico de la especie y (ii) el efecto del CH. En el caso del peso específico, el de *C. lusitanica* es de 0,43 (Moya & Muñoz, 2010), lo cual hace que tenga una densidad aparente mayor que la obtenida por los pellets de *T. grandis*, cuyo peso específico es de 0,60 (Moya et al., 2014). En relación con el CH, diversos autores apuntan que un aumento en el CH de los pellets resulta en una disminución lineal de la densidad aparente (Mani, 2006b; Fasina, 2008). En el caso específico de este estudio *C. lusitanica* presentó un CH de 7,50%, mientras que *T. grandis* mostró una humedad estadísticamente superior (12,6%); de manera que al presentar *C. lusitanica* un menor CH, resulta con una mayor densidad aparente, contrariamente a *T. grandis*, que con un mayor CH obtuvo una densidad aparente menor.

Los perfiles de densidad para las dos especies señalan las variaciones tanto en sentido transversal como longitudinal (Fig. 3). En el caso de *C. lusitanica* no se observan grandes variaciones de densidad en ninguno de los sentidos, lo que puede ser validado por su bajo coeficiente de variación (Cuadro 2). Sin embargo, para *T. grandis* es posible observar zonas de mayor densidad como resultado de la presencia de regiones de mayor claridad en la superficie (Fig. 4c), lo que arroja un coeficiente de variación mayor al de *C. lusitanica*. Como se comentó anteriormente, la presencia de estas regiones claras y su alta densidad es producida por las variaciones en el tamaño y distribución de las partículas. Algunos estudios indican que cuanto menor sea el tamaño de las partículas, mayor será la densidad de los pellets, sin embargo, si dicho tamaño no es uniforme, es posible que se presenten variaciones de densidad (Lehtikangas, 2001; Rhén et al., 2005; Larsson et al., 2008; Bergstrom et al., 2008; Serrano et al., 2011).

Las propiedades mecánicas de los pellets, especialmente la resistencia a la compresión, están influenciadas por su CH y por los parámetros de presión y temperatura utilizados durante el proceso de peletizado (Rhén et al., 2005; Gilbert et al., 2009; Serrano et al., 2011). Como ya se indicó, el proceso de peletizado fue el mismo para ambas especies, de ahí que el único factor que podría afectar la resistencia a la compresión de los pellets es su CH. Las diferencias en cuanto a los parámetros de compresión encontradas entre ambas especies pueden ser relacionadas con el CH de los pellets. De acuerdo con Rhén et al. (2005), el esfuerzo de compresión aumenta conforme disminuye el CH de los pellets, de ahí que los pellets de *C. lusitanica* con menor CH presenten un esfuerzo de compresión y una fuerza de ruptura mayor (Cuadro 2, Fig. 3c).

La durabilidad se define como la capacidad de los pellets para soportar cargas destructivas y fuerzas durante el transporte (Tabil & Sokhansanj, 1996). Este parámetro se considera aceptable cuando su valor es mayor a 80%, mediano cuando se encuentra entre 70% y 80% y bajo cuando es menor a 70% (Colley et al., 2006). Al aplicar estos conceptos a la durabilidad obtenida en los pellets de *C. lusitanica* y *T. grandis*, que fue superior al 80% en ambos casos, se puede afirmar que los pellets fabricados con estas especies son de durabilidad alta. Valores altos de durabilidad dan como resultado una disminución en los riesgos asociados a explosiones por fuego durante el transporte o almacenamiento de los pellets, así como en las emisiones de polvo, de igual forma, evitan problemas en los sistemas de alimentación de estos (Temmerman et al., 2006).

Las diferencias encontradas en los valores de durabilidad entre las dos especies (Cuadro 2) pueden ser explicadas considerando nuevamente el CH. Se ha reportado que la durabilidad aumenta conforme aumenta el CH, hasta alcanzar un punto óptimo y que, una vez que se supera este punto, la durabilidad y fuerza de los pellets disminuye (Kaliyan & Morey, 2009; Lee et al., 2013). Al respecto, Colley et al. (2006), al estudiar los efectos que posee el CH en las características físicas de los pellets de hierbas de mijo, encontraron que los pellets con contenidos de humedad de 8,6% obtuvieron la durabilidad más alta. Resultados similares se obtuvieron en este estudio, en el cual los pellets de *T. grandis* con un CH de 12,06% obtuvieron un porcentaje de durabilidad mecánica mayor que los de *C. lusitanica*, cuyo CH fue de 7,50% (Cuadro 2).

En síntesis, es posible observar que los pellets de *T. grandis* poseen una mayor durabilidad, sin embargo, en el caso del esfuerzo de compresión y de la fuerza de ruptura, parece ser que superaron el punto óptimo de humedad, ya que presentan valores menores a los obtenidos por *C. lusitanica* (Cuadro 2).

Conclusiones

La eficiencia del proceso de peletizado fue de 25% para *C. lusitanica* y de 20% para *T. grandis*, valores que se consideran muy bajos.

En la evaluación de calidad de los pellets, los de *C. lusitanica* se caracterizan por poseer zonas de mayor claridad y pocas fisuras de corto tamaño en su superficie, pero los de *T. grandis* presentan un mayor número de zonas de mayor claridad y fisuras de mayor profundidad y largo.

En la evaluación de las propiedades físicas, los pellets de *C. lusitanica* tuvieron un diámetro y largo promedio de 6,16 mm y 27,27 cm, respectivamente, y los de *T. grandis* un diámetro de 6,21 mm y un largo de 19,78 cm. La variación del largo en los pellets de *C. lusitanica* fue de 17,5 cm a 38,5 cm, mientras que para *T. grandis* fue de 15,5 cm a 30,5 cm. El CH de los pellets de *C. lusitanica* fue estadísticamente menor que el valor obtenido en *T. grandis*. La capacidad de absorción y la densidad aparente en *C. lusitanica* es estadísticamente mayor a la de *T. grandis*.

En los pellets de *C. lusitanica* la densidad es similar, tanto en el diámetro como en la longitud, por lo que se consideran más uniformes. Por el contrario, los pellets de *T. grandis* presentan una mayor variabilidad de densidad en estos dos sentidos, lo que los hace menos uniformes.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el esfuerzo en compresión y la fuerza de ruptura para los pellets de *C. lusitanica* fueron estadísticamente superiores a los de *T. grandis*. En los parámetros de durabilidad, por el contrario, *C. lusitanica* presenta un valor menor que en *T. grandis*.

Bibliografía

- Aarseth, K.A. & Prestlokken, E. (2003). Mechanical Properties of Feed Pellets: Weibull Analysis. *Biosystems Engineering*, 84, 349-361.
- Aragón-Garita, S., Moya, R., Bond, B., Valaert, J. Tomazello-Fihlo, M. (2016). Production and quality analysis of pellets manufactured from five potential energy crops in the Northern Region of Costa Rica. *Biomass and Bioenergy*, 87: 84-95.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). (2003a). D 5865-04 Standard test method for gross calorific value of coal and coke. En *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, US: ASTM. Vol. 04.10.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2003b). D-1102-84 Standard test method for ash in wood. En *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, US: ASTM. Vol. 11.06.
- Bergstrom, D., Israelsson, S., Ohman, M., Dahlgqvist, S.A., Gref, R., Boman, C. & Wasterlund, I. (2008). Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*, 89, 1324-1329.
- BSI. DD CEN/TS 15210-1:2005. (2005). *Solid biofuels. "Methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes". Part 1: pellets*. Milan, Italy.
- Carone, M.T., Pantaleo, A. & Pellerano, A. (2011). Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and Bioenergy*, 35, 402-410.
- Colley, Z., Fasina, O.O., Bransby, D. & Lee, Y.Y. (2006). Moisture effect on the physical characteristics of switchgrass pellets. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 49, 1845-1851.
- Cornelius, J., Apedaile, L. & Mesén, F. (1996). Provenance and Family Variation in Height and Diameter Growth of *Cupressus lusitanica* Mill. at 28 Months in Costa Rica. *Silvae Genetica*, 45, 2-3.
- Demirbas, A. (2009). Relationships between heating value and lignin, moisture, ash and extractive contents of biomass fuels. *Energy Exploration and Exploitation*, 20, 105-111.
- Deutsches Institut Fur Normung (DIN). (1996). *Testing of solid fuels. Compressed untreated wood. Requirements and testing*. German National Standard.
- Fasina, O.O. (2008). Physical properties of peanut hull pellets. *Bioresource Technology*, 99, 1259-1266.
- Filbakk, T., Skjevraak, G., Høibø, O., Dibdiakova, J. & Jirjis, R. (2011). The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. *Fuel Processing Technology*, 92, 871-878.
- Gilbert, P., Ryu, C., Sharifi, V. & Swithenbank, J. (2009). Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops. *Fuel*, 88, 1491-1497.
- Kaliyan, N. & Morey, R.V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33, 337-359.
- Kumar, J.I.N., Patel, K., Kumar, R.N. & Kumar R. (2009). An assessment of Indian fuelwood with regards to properties and environmental impact. *Asian Journal of Energy Environment*, 10, 99-107.
- Larsson, S., Thyrel, M., Geladi, P. & Lestander, T. (2008). High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials. *Bioresource Technology*, 99, 7176-7182.
- Lee, Y.W., Ryu, C., Lee, W.J. & Park, Y.K. (2011). Assessment of wood pellet combustion in a domestic stove. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13, 165-172.
- Lee, S.M., Ahn, B.J., Choi, D.H., Han, G.S., Jeong, H.C., Ahn, S.H. & Yang, I. (2013). Effects of densification variables on the durability of wood pellets fabricated with *Larix kaempferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Biomass and Bioenergy*, 48, 1-9.

- Lehtikangas, P. (2001). Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, 20, 351-360.
- Mande, S.P. (2009). Thermo chemical conversion of biomass. En V. V. N. Kishore (Ed.), *Renewable energy engineering and technology* (pp. 705-728. New Delhi: The Energy and Resources Institute.
- Mani, S., Sokhansanj, S., Bi, X. & Turhollow, A. (2006a). Economics of producing fuel pellets from biomass. *Applied Engineering in Agriculture*, 22, 421-426.
- Mani, S., Tabil, L.G. & Sokhansanj, S. (2006b). *Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses*. *Biomass and Bioenergy*, 30, 648-654.
- Moya, R. & Muñoz, F. (2010). Physical and mechanical properties of eight species from fast-growth plantation in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 22, 317-328.
- Moya, R. & Tenorio, C. (2013). Fuelwood characteristics and its relation with extractives and chemical properties of ten fast-growth species in Costa Rica. *Biomass and Bioenergy*, 56, 14-21.
- Moya, R., Bond, B. & Quesada, H. (2014). A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. *Wood Science and Technology*, 48(2), 411-433.
- Murillo, O., Obando, G., Badilla, J. & Sánchez, S. (2001). Perspectivas en las zonas altas de Costa Rica. *Biocenosis*, 1(1-2), 66-71.
- Nielsen, N.P.K., Gardner, D.J., Poulsen, T. & Felby, C. (2009a). Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood into fuel pellets. *Wood and Fiber Science*, 41, 414-425.
- Nielsen, N.P.K., Holm, J.K. & Felby, C. (2009b). *Effect of fiber orientation on compression and frictional properties of sawdust particles in fuel pellet production*. *Energy Fuels*, 23, 3211-3216.
- Razuan, R., Finney, K.N., Chen, Q., Sharifi, V.N. & Swithenbank, J. (2011). Pelletised fuel production from palm kernel cake. *Fuel Process Tech*, 92, 609-615.
- Rhén, C., Gref, R., Sjoström, M. & Wasterlund, I. (2005). Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets. *Fuel Processing Technology*, 87, 11-16.
- Serrano, C., Monedero, E., Lapuerta, M. & Portero, H. (2011). Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*, 92, 699-706.
- Soto, G. & Núñez, M. (2008). Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de *Pinus radiata* (D. Don) como material aglomerante. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 10, 129-137.
- Stahl, M. & Berghel, J. (2011). Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapessed cake. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4842-4854.
- Stelte, W., Clemons, C., Holm, J.K., Sanadi, A.R., Ahrenfeldt, J., Shang, L. & Henriksen, U.B. (2011a). Pelletizing properties of torrefied spruce. *Biomass and Bioenergy*, 35, 4690-4698.
- Stelte, W., Holm, J.K., Sanadi, A.R., Barsberg, S., Annenfeldt, J. & Henriksen, U.B. (2011b). A study of bonding and failure mechanism in fuel pellets from different biomass resources. *Biomass and Bioenergy*, 35, 910-918.
- Stelte, W., Holm, J.K., Sanadi, A.R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J. & Henriksen, U.B. (2011c). Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*, 90, 3285-3290.
- Tabil, L. & Sokhansanj, S. (1996). Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12, 345-350.
- Telmo, C. & Lousada, J. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2634-2639.
- Temmerman, M., Rabier, F., Jensen, P.D., Hartmann, H. & Bohm, T. (2006). Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy*, 30, 964-972.
- Tenorio, C. & Moya, R. (2013). Thermogravimetric characteristics, its relation with extractives and chemical properties and combustion characteristics of ten fast-growth species in Costa Rica. *Thermochimica Acta*, 563, 12-21.
- Theerarattananoona, K., Xua, F., Wilsonb, J., Ballardc, R., Mckinneyb, L., Staggenborgc, S., Vadlanib, P., Peid, Z.J. & Wang, D. (2011). Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. *Industrial Crops and Products*, 33, 325-332.
- White, R.H. (1987). Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood. *Wood and Fiber Science*, 19, 446-452.

Diseño y validación de una herramienta tecnológica dirigida a pymes para realizar autodiagnósticos sobre el cumplimiento de requisitos de la Norma Pyme y la Norma Nacional para demostrar la carbono-neutralidad en Costa Rica

Design and validation of a Technological Tool aimed at SMEs to self-assessment compliance with requirements of the SMEs Standard and the National Standard to demonstrate Carbon Neutrality in Costa Rica

Ariel Porras-Rozas¹, Teresa Salazar-Rojas²

Fecha de recepción: 3 de noviembre del 2015
Fecha de aprobación: 19 de enero del 2016

Porras-Rozas, A; Salazar-Rojas, T. Diseño y validación de una herramienta tecnológica dirigida a pymes para realizar autodiagnósticos sobre el cumplimiento de requisitos de la Norma Pyme y la Norma Nacional para demostrar la carbono-neutralidad en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, Nº 2, Abril-Junio 2016. Pág 110-124.

1 Ingeniero Ambiental. AmbienTICA Consulting S.A. Costa Rica Teléfono: (506) 83264895. Correo electrónico: arozas@ambienticacr.com.

2 Máster en Gestión Ambiental, Escuela de Química (Carrera de Ing. Ambiental), Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono: (506) 25502741. Correo electrónico: tsalazar@itcr.ac.cr..

Palabras clave

Pymes; Norma Pyme; C-Neutralidad; Sistema integrado de Gestión; índice de validez de contenido; razón de validez del contenido; método modificado de Lawshe.

Resumen

Las pymes de Costa Rica tienen dificultades para mejorar su competitividad según los estándares internacionales y participar en las iniciativas de Carbono-Neutralidad a nivel nacional. Para asistir a las pymes en temas de gestión ambiental se creó una Herramienta Tecnológica de Autodiagnóstico que contiene dos cuestionarios que determinan el porcentaje de cumplimiento de los requisitos de las normas Pyme y C-Neutralidad, los cuales fueron validados según los criterios de pertinencia y relevancia mediante una prueba de juicio de expertos y el método modificado de Lawshe para validez del contenido. La prueba aceptó todos los ítems del cuestionario sobre la norma Pyme, ya que todos tuvieron una Razón de Validez del Contenido (RVC') mayor a 0,5823, que es el mínimo aceptable; sin embargo, ocho ítems fueron retirados del cuestionario de la C-Neutralidad. El Índice de Validez del contenido (IVC) para ambos cuestionarios fue mayor al aceptado, de 0,5823. La HTA está conformada por los dos cuestionarios validados y está disponible para las pymes en el sitio web <http://gestionpymescr.com/>.

Keywords

SMEs; SMEs Standard; Integrated management system; Content Validity Index (CVI); Content Validity Ratio (CVR); Modified Lawshe Method.

Abstract

Small and medium business in Costa Rica are struggling to improve their competitiveness on international standards and be part of initiatives of carbon neutrality nationally. To assist SMEs in their environmental management, a Technological Self-Assessment Tool (HTA) was created, it contains two questionnaires that determine the percentage of compliance with requirements of the Management System for SMEs and C-neutrality standards, both were validated according to the criteria of relevance and significance, they were subject to judgment experts test and the modified method Lawshe for validity content. The test accepted all the questionnaire items of the Management System for SMEs standard, all items had a Content Validity Ratio (CVR') greater than 0,5823 the minimum acceptable, however 8 items were removed from the C-Neutrality questionnaire. The Content Validity Index (CVI') for both questionnaires was greater than 0,5823. The Technological Self Diagnostic Tool consists of two validated questionnaires and is available for SMEs at <http://gestionpymescr.com/>.

Introducción

Las pymes en Costa Rica cumplen un papel protagónico a nivel nacional ya que contribuyen diariamente al proceso de desarrollo económico y social del país, mediante la generación de empleo y el mejoramiento de las condiciones productivas y de acceso a la riqueza (Chaves, 2014). Sin embargo, las técnicas que utilizan estas empresas para generar productos, crear procesos y brindar servicios son poco amigables con el ambiente. Según Rubio (2008), las pymes provocan sobre el entorno natural una serie de procesos negativos que conllevan a

un deterioro y desequilibrio ecológico que, de no tomar las debidas medidas a tiempo puede resultar irreversible.

Costa Rica asumió el compromiso de ser Carbono-Neutral para el año 2021 y para lograrlo debe involucrar en el proceso a las pymes, sin embargo, Cartín (2008) asegura que existe una falta de cultura de desarrollo que le permita al país crear una estrategia de competitividad global y sostenible. Las pymes no consideran el tema ambiental como una prioridad o una necesidad, ya que su principal reto es subsistir, y las herramientas o sistemas de gestión convencionales no son sencillos de aplicar en este tipo de empresas, ya que para ello se necesita contratar expertos en el tema y hacer una gran inversión de tiempo y dinero.

Debido a lo anterior, surgió una gran motivación por realizar este estudio, que pretende brindar a las pymes de Costa Rica una Herramienta Tecnológica de Autodiagnóstico (HTA) robusta e interactiva, que interrelacione en forma directa la productividad con el desempeño ambiental, que les permitirá determinar cuantitativamente y por sí solas su grado de desempeño en el cumplimiento de los requisitos para certificar un Sistema Integrado de Gestión (SIG) de Calidad y Ambiente bajo la norma Pyme INTE 01-01.09:2013 u obtener un reconocimiento de Carbono-Neutralidad con la norma nacional INTE 12-01-06:2011.

Este escrito detalla los criterios de diseño y construcción que se utilizaron para crear la HTA, que fue validada mediante una prueba de juicio de expertos y está disponible en la página *web* <http://gestionpymes.cr/>.

Metodología

Para confeccionar las versiones preliminares de los cuestionarios de autodiagnóstico sobre las normas Pyme y C-Neutralidad, se llevaron a cabo las siguientes fases:

- *FASE I:* Conceptualización de los *constructos* (lo que se quiere medir) de ambos autodiagnósticos. Se definió que los *constructos* son los respectivos porcentajes de cumplimiento de los requisitos de la *Norma Pyme INTE 01-01-09:2013* (INTECO, 2013) y la *Norma Nacional para demostrar la C-Neutralidad INTE 12-06-01:2011* (INTECO, 2011).
- *FASE II:* Definir las *dimensiones* del constructo. En el caso de la norma Pyme se determinó evaluar siete *dimensiones*, tomando como criterio que son siete las cláusulas que contienen los requisitos para certificar un sistema de gestión ambiental (SGA). Para la norma C-Neutralidad, serían las etapas que debe completar una pyme o cualquier otra organización para obtener el reconocimiento de C-Neutralidad.
- *FASE III:* Cada dimensión de las normas se desglosó en requisitos (excluyentes entre sí), los cuales pasaron a ser los *ítems* que componen cada cuestionario de autodiagnóstico. Se hicieron cambios en la redacción, con el fin de facilitar la comprensión de los usuarios pero sin salirse del contexto.
- *FASE IV:* Para conocer el grado de cumplimiento de cada requisito, se utilizó una escala de respuesta precodificada, en la que se le asignó un código numérico a las diferentes posibles respuestas.

Para obtener los puntajes en los autodiagnósticos, en el caso de la norma Pyme se utilizó la Fórmula 1.

Fórmula 1

$$\% \text{ cumplimiento de requisitos por cláusula} = \frac{\text{Puntos Obtenidos}}{2 \times (Y-Z)} \times 100$$

donde $2 \times (Y-Z)$: Total de puntos de la cláusula; Y: Número total de ítems que componen dicha cláusula.

Z: Cantidad de ítems cuya respuesta fue “no aplica” y que se deben incluir en la fórmula como una resta para que sean tomados en cuenta en la calificación final; 2: por cada ítem el usuario puede obtener un máximo de 2 puntos.

A la cláusula 5 de esta norma (Liderazgo) se le otorgó triple peso en la calificación final, debido a que si la alta dirección de la pyme no está interesada en implementar y certificar un Sistema Integrado de Gestión (SIG) de Calidad y Ambiente, entonces el sistema se cae o no funciona (CCAD, 2008).

Para obtener la calificación final del Autodiagnóstico de la norma Pyme se hizo uso de la Fórmula 2, expuesta a continuación.

Fórmula 2

$$\text{Calificación final} = \frac{(\text{Sumatoria notas cláusulas 4,6,7,8,9,10}) + 3 \times (\text{nota cláusula 5})}{900} \times 100$$

En el caso del mecanismo utilizado para determinar la calificación final del Autodiagnóstico de la norma C-Neutralidad, todas las cláusulas (dimensiones) que componen el cuestionario tienen un peso distinto en la calificación de cada etapa y también en la final. La razón de esta ponderación es que hay requisitos que requieren más trabajo y tiempo para poder cumplirlos si se comparan con otros. Para calcular la calificación de cada etapa se utilizó la Fórmula 3.

Fórmula 3

$$PC_{ETAPA} = \frac{\text{Puntos Obtenidos en la cláusula}}{2 \times \text{Cantidad de ítems de la cláusula}} \times P_c$$

Donde PC_{ETAPA} : Porcentaje de cumplimiento de requisitos de la cláusula para la etapa y P_c : Peso de la cláusula en la calificación de la etapa a la que pertenece.

Para determinar la nota final del Autodiagnóstico de la norma C-Neutralidad se utilizó la Fórmula 4 y, finalmente, se suman las notas desde la cláusula 5.1 hasta la 7.2 para obtener el porcentaje de cumplimiento de requisitos de la norma nacional para demostrar la C-Neutralidad.

Fórmula 4

$$PC_{FINAL} = \frac{\text{Puntos Obtenidos en la cláusula}}{2 \times \text{Cantidad de ítems de la cláusula}} \times P_F$$

Donde PC_{FINAL} : Porcentaje de cumplimiento de requisitos de la cláusula para la calificación final y P_F : Peso de la cláusula en la calificación final.

La validez del contenido de los autodiagnósticos se determinó mediante el juicio de expertos. Se convocó un panel integrado por especialistas en el dominio a evaluar desde el punto de vista profesional, académico y de competencias. Además, muchas de estas personas estuvieron

en el momento de la creación de alguna de las normas o actualmente realizan labores en el proceso de su implementación.

La validación se realizó de tal forma que el primer juez en participar evaluó la Versión 1, luego se tomaron todas sus recomendaciones y se hicieron las correcciones necesarias; a partir de estos cambios se obtuvo la Versión 2. Este proceso de mejora se llevó a cabo hasta que participaron todos los jueces, así se obtuvo la Versión Final (validada) del autodiagnóstico evaluado.

Los pasos de la validación se desarrollaron por igual para ambos cuestionarios:

- A) Los expertos evaluaron cada ítem tomando en cuenta dos criterios: *pertinencia* (para verificar si el ítem evalúa lo que se pretende evaluar) y *relevancia* (importancia del ítem para el autodiagnóstico). Se utilizó la siguiente escala de respuesta propuesta por Polit y Hungler (2000) para realizar la evaluación:
Pertinencia: 1. no pertinente, 2. poco pertinente, 3. pertinente y 4. muy pertinente.
Relevancia: 1. no relevante, 2. poco relevante, 3. relevante y 4. muy relevante.
- B) Se tabularon las respuestas en Excel para realizar el análisis cuantitativo de la validez del contenido.
- C) Para el dictamen cuantitativo de la validez de los cuestionarios, se calculó primero la *razón de validez de contenido (RVC')* para cada ítem y se utilizó la Fórmula 5.

Fórmula 5

$$RVC' = \frac{\text{Cantidad de jueces que puntuaron entre 3 y 4 al ítem}}{\text{Total de jueces}}$$

Se clasificaron los ítems en forma categórica, de tal modo que los que tenían una RVC' superior a 0,5823 -el mínimo permitido, según Tristán (2008)- se clasifican como "aceptables" y en caso contrario "no aceptables", estos últimos se eliminaron de los cuestionarios. En caso de que no se pudiera excluir un ítem por hacer referencia a un requisito indispensable de la norma, se revisó y corrigió (según las recomendaciones de los expertos), para aumentar su valor de la RVC' y así evitar eliminarlo.

- D) Seguidamente, se calculó el *índice de validez del contenido (IVC)* de todo el cuestionario, el cual se determinó a partir de la media de la RVC' utilizando la Fórmula 6.

Fórmula 6

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^M CVR(\text{aceptables})_i}{M}$$

Donde RVC_i: Razón de Validez de Contenido de los ítems aceptables de acuerdo con el criterio de Lawshe y M: Total de ítems aceptables de la prueba.

El IVC se calculó solo tomando en cuenta los ítems aceptables; se consideró válido el cuestionario de autodiagnóstico cuyo IVC fue superior a 0,5823.

Además, con el fin de obtener una opinión global sobre la HTA, se solicitó a todos los participantes de la prueba de juicio de los expertos responder dos preguntas de respuesta abierta:

- ¿Cuál es su opinión general sobre los beneficios que brinda la Herramienta de Autodiagnóstico?

- ¿Cuál es su opinión sobre el hecho de que esta Herramienta de Autodiagnóstico esté disponible en formato digital?

Para el desarrollo de la plataforma en la nube se utilizó la plataforma Heruku.com y la colaboración del ingeniero en computación Alonso González Campos, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, quien se encargó de la transcripción de los cuestionarios previamente diseñados y validados y de la programación de la HTA según las siguientes indicaciones:

1. *Página de inicio:* Con los links de acceso a los dos cuestionarios; además se colocó información que responda las siguientes preguntas:
 - ¿Cuáles empresas deben realizar los autodiagnósticos?
 - ¿Qué se obtiene al contestar por completo uno o ambos autodiagnósticos?
2. *Registro de usuarios:* Para utilizar la HTA, es necesario registrarse en la plataforma digital.
3. *Los dos autodiagnósticos con sus respectivas especificaciones de uso:* Se incluyeron los autodiagnósticos en la HTA previamente diseñados y validados, con su respectiva instrucción de uso.
4. *Proceso de consulta de términos y definiciones de las normas:* Para consultar la terminología del apartado “TÉRMINOS Y DEFINICIONES” de ambas normas se creó un mecanismo de consulta basado en ventanas emergentes.
5. *Despliegue de los resultados obtenidos e historial de las calificaciones:* Se programó la HTA para que se pudiera obtener una calificación por cada cláusula o etapa, dependiendo de la norma, y también una nota general.
6. *Historial de Calificaciones:* En caso de que la empresa responda repetidas veces el cuestionario, podrá ver en la página de inicio el historial de todas las calificaciones obtenidas hasta el momento de la consulta y la respectiva fecha.

Resultados y discusión

Este apartado contiene los resultados del diseño de los cuestionarios y de su respectiva validación. Además, se muestra cómo quedó estructurada la HTA y al final una serie de beneficios que se identificaron en experiencias de implementación de la HTA en pymes.

En la Figura 1 se puede observar en forma gráfica el diseño de ambos autodiagnósticos. Esta estructura de los cuestionarios permite obtener los resultados sobre el cumplimiento de los requisitos de cada norma.

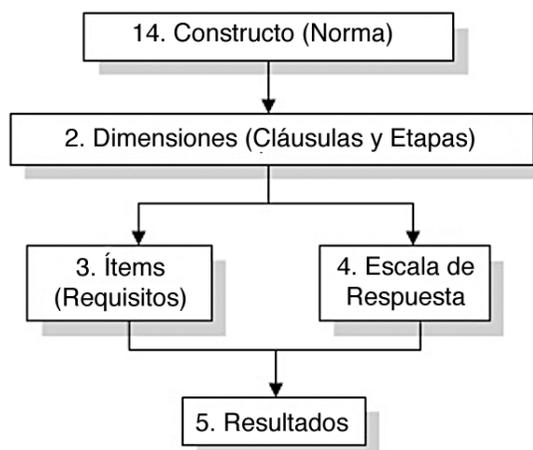


Figura 1. Estructura del diseño de los cuestionarios de autodiagnóstico

En el Cuadro 1 se muestra un resumen de la composición preliminar de cada uno de los cuestionarios de autodiagnóstico (sin haber pasado por la prueba de validación). Las versiones preliminares y finales mantienen la misma estructura de diseño.

Cuadro 1. Composición de los cuestionarios preliminares de autodiagnóstico.

Norma	Constructo	Dimensiones	Cantidad de ítems*
Pyme	Porcentaje de cumplimiento de requisitos de la norma	7 cláusulas de la norma	136
C-Neutralidad		4 Etapas para alcanzar la C-Neutralidad	44

*Esta cantidad representa a los ítems sin validar.

A continuación, se detallan los resultados de diseño obtenidos en ambos cuestionarios.

1. *Constructo:* Para los dos autodiagnósticos quedó definido como el porcentaje de cumplimiento de los requisitos de las normas.
2. *Dimensiones:* Las dimensiones de los cuestionarios representan las categorías o características del constructo. Las dimensiones en ambos cuestionarios quedaron definidas de diferente manera:
 - La norma Pyme está compuesta por diez cláusulas, de las cuales siete contienen los requisitos necesarios para certificar un SIG de calidad y ambiente y las tres restantes son el objetivo, las normas de referencia y los términos y definiciones, por lo que se determinó que las dimensiones que se evaluarían serían las de requisitos, las cuales son:

- Cláusula 4: Contexto de la organización	- Cláusula 8: Operación
- Cláusula 5: Liderazgo y Compromiso	- Cláusula 9: Evaluación del Desempeño
- Cláusula 6: Planificación	- Cláusula 10: Mejora
- Cláusula 7: Soporte	

- Tal y como se muestra en el Cuadro 2, las dimensiones del cuestionario de la C-Neutralidad quedaron definidas en cuatro etapas, relativas al proceso por el que debe pasar una pyme que desea ser C-Neutral.

Cuadro 2. Dimensiones del constructo del autodiagnóstico de la C-Neutralidad

Dimensión	Cláusula de la norma C-Neutralidad
Etapa 1: Inventario de Emisiones de GEI	5.1 Alcance
	5.2 Recursos
	5.3 Inventario
Etapa 2: Reducción y Remoción de Emisiones de GEI	5.4 Remociones
	5.5 Documentación para la reducción
Etapa 3: Compensación de Emisiones de GEI	6 Compensación de emisiones
Etapa 4: Declaración de la C-Neutralidad	7.1 Gestión de la información del inventario
	7.2 Informe de resultados

3. *Ítems:* Los ítems cumplen con lo que sugieren Escobar y Cuervo (2008), ya que capturan cada una de las dimensiones que se miden en los cuestionarios. Además, llevan la misma secuencia de las normas y cada uno está referenciado con un carácter alfanumérico, que se inicia con el número de la cláusula a la que pertenece.
4. *Escalas de respuesta:* Las escalas de respuestas precodificadas que se seleccionaron para los autodiagnósticos (Cuadro 3) permiten cuantificar el constructo, es decir, determinan el porcentaje de cumplimiento de requisitos de cada cuestionario.

Cuadro 3. Escala de respuestas precodificadas de los autodiagnósticos.

Condición	Respuesta	Puntos obtenidos
La pyme cumple por completo con el requisito.	Sí	2
La pyme está en proceso de cumplir con el requisito o no está 100% segura de haberlo completado.	Parcialmente	1
La pyme no ha hecho un esfuerzo por cumplir con el requisito que se está preguntando.	No	0
El requisito no corresponde debido a la naturaleza de las actividades de la pyme.	No aplica	-- *

* En caso de que la respuesta sea "no aplica", la herramienta no toma en cuenta ese ítem para la calificación final ya que este no correspondería.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la validez del contenido de cada uno de los cuestionarios.

El cuestionario de Autodiagnóstico de la norma Pyme luego de terminar el proceso de validación se obtuvo como resultado de la Versión 5 (validada). Los resultados del análisis cuantitativo de la validez de esta norma son:

- RVC': Con base en el acuerdo entre los cuatro jueces, se determinó la RVC' para cada uno de los 136 ítems que componen este cuestionario de Autodiagnóstico, y se obtuvieron valores de RVC' por encima del mínimo aceptable de 0,5823 para todos ellos. Por lo tanto, todos los ítems son válidos en contenido y pueden determinar el porcentaje de cumplimiento de requisitos de la norma Pyme.
- IVC: Seguidamente, se calculó el IVC del cuestionario (para ambos criterios), dando resultados casi perfectos, muy cercanos a 1, que era el máximo puntaje (Fig. 2). La prueba demostró que el Autodiagnóstico de la norma Pyme es pertinente y relevante.

Para el caso de esta norma, eliminar un ítem no resultaba factible, ya que la certificación del SIG de calidad y ambiente se obtiene cuando una empresa tiene el 100% de los requisitos cumplidos, siempre y cuando el requisito sea parte de la naturaleza de las actividades que realiza la pyme.

La aplicación de esta prueba de juicio de expertos para la norma C-Neutralidad se realizó de manera similar a la de la norma Pyme, con la diferencia de que en esta participaron más jueces, siete en total. Al completar la evaluación con todos los jueces, se obtuvo la Versión 6 (validada); los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- RVC': A partir de los datos de las evaluaciones realizadas se calculó la RVC' de los 44 ítems. Los resultados determinaron el retiro de ocho ítems del total porque tuvieron valores de RVC' menores que el mínimo aceptado de 0,5823. Entre las razones dadas por los expertos para eliminar algunos ítems están las siguientes: los requisitos no son vinculantes en Costa Rica por el momento, ya que no se cuenta con las herramientas necesarias para hacerlos valer; existen diferencias entre lo que dicen el Programa País C-Neutralidad, la Estrategia Nacional de Cambio Climático y la norma nacional para demostrar la C-Neutralidad; algunos requisitos no son relevantes para solicitarles a las pymes.
- IVC: Los IVC calculados tomando en cuenta solo los ítems aceptables, demostraron que el autodiagnóstico de la norma C-Neutralidad es válido en cuanto a los criterios de pertinencia y relevancia, con valores superiores a 0,5823 (Fig. 2), por lo que el cuestionario de autodiagnóstico puede aplicarse en las pymes de Costa Rica.

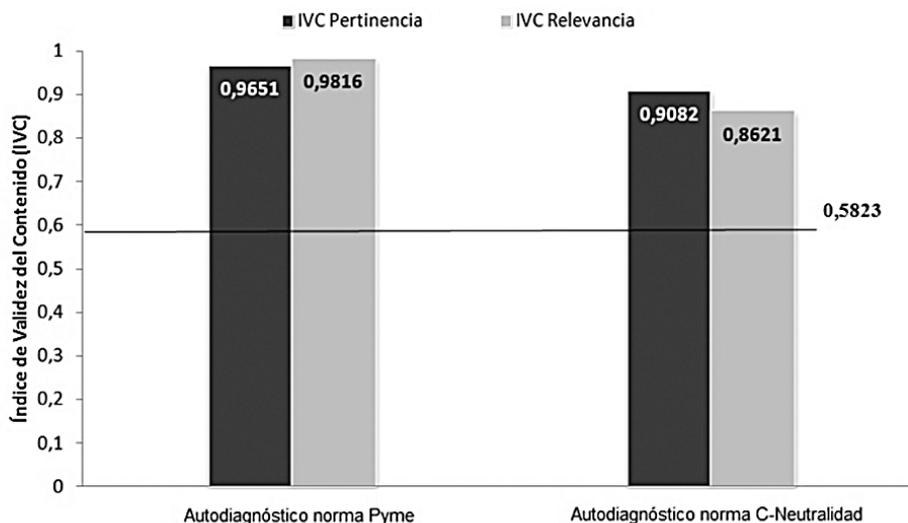


Figura 2. Índices de Validez del Contenido (IVC) para los autodiagnósticos de la norma Pyme y C-Neutralidad

En la Figura 3 se muestra un esquema de la estructura final de la HTA, según especificaciones mencionadas en la Metodología, que se puede ver en la página web: <http://gestionpymescr.com/>

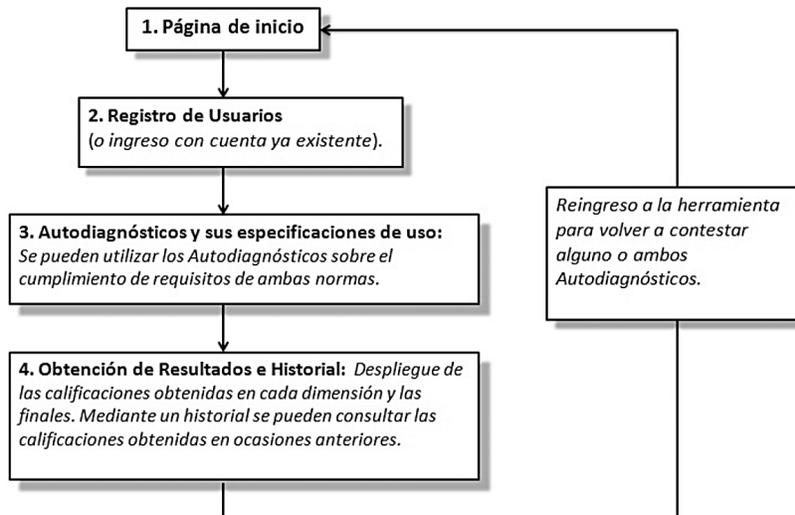


Figura 3. Estructura de la HTA

A continuación, se exponen los resultados detallados sobre el funcionamiento y construcción de la herramienta, siguiendo el flujo de la Figura 3.

1. **Página de Inicio:** Desde la página de inicio se ingresa a los dos cuestionarios de autodiagnóstico; además, funciona para orientar fácilmente a las empresas en el objetivo y alcance de dicha herramienta.
2. **Registro de Usuarios:** Una vez registrada (Fig. 4), la empresa puede ingresar a la HTA con solo el correo electrónico y la contraseña.

YA TENGO CUENTA	CREAR UNA CUENTA
Para comenzar crea una cuenta o ingresa con tu correo y contraseña:	
<input type="text" value="Nombre de la Empresa"/>	<input type="text" value="Clasificación de la empresa"/>
<input type="text" value="Cédula Jurídica"/>	<input type="text" value="Sector Empresarial"/>
<input type="text" value="Código CIU"/>	<input type="text" value="¿Está la empresa registrada ante el MEIC?"/>
<input type="text" value="Teléfono"/>	<input type="text" value="¿Cuál es la principal actividad que realiza la empresa?"/>
<input type="text" value="¿Cuál es la cantidad actual de empleados?"/>	
<input type="text" value="Correo electrónico"/>	
<input type="text" value="Contraseña"/>	
<input type="button" value="CREAR"/>	

Figura 4. Sistema de registro de usuarios e ingreso a la HTA Fuente: www.gestionpymescr.herokuapp.com

Los resultados obtenidos en la construcción de la HTA fueron los siguientes:

- a) *Transcripción de los cuestionarios*: Cada uno de los ítems validados se transcribieron a versión digital sobre la plataforma tecnológica, manteniendo una secuencia congruente con la norma de la que se extrajeron; además, cada ítem tiene a su lado derecho la escala de respuesta.
- b) *Instrucciones de uso*: Estas instrucciones aparecen en el momento en que el usuario elige el tipo de autodiagnóstico que va a responder, se le explica cómo utilizar la escala de respuesta y las siguientes instrucciones específicas para cada caso:
 - Para el cuestionario de la norma Pyme, al usuario se le hace la indicación de que antes de empezar a contestar debe definir el producto o productos que desea incluir en el SIG.
 - Las instrucciones del cuestionario de la C-Neutralidad incluyen la explicación de cómo utilizar el botón como hipervínculo para elegir la etapa que se desea contestar (Fig. 5). Uno de los beneficios de la inclusión del botón es que las empresas comprenden más fácilmente el proceso para obtener el reconocimiento de C-Neutralidad; además, se incluye la característica interactiva de la herramienta.



Figura 5. Botón que se utiliza como hipervínculo para elegir la etapa del cuestionario de la C-Neutralidad. Fuente: www.gestiónpymescr.herokuapp.com

- c) *Consulta de términos y definiciones*: Se desarrolló un mecanismo de consulta que se caracteriza por ser muy rápido, fácil de utilizar e interactivo. Este funciona dejando el cursor del computador durante un instante sobre las palabras en **negrita** y aparecerá una ventanilla emergente que contiene la respectiva definición; esta desaparece al mover el cursor; ver ejemplo en Figura 6.

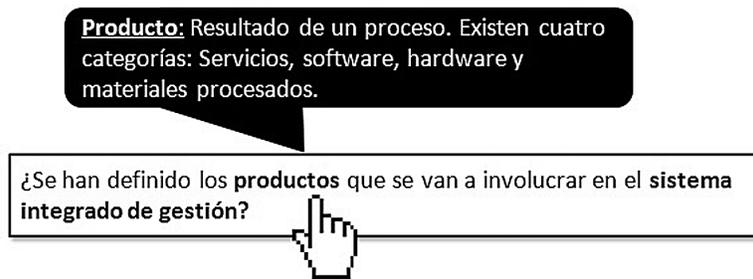


Figura 6. Proceso de consulta de la terminología y definiciones de los autodiagnósticos. Fuente: www.gestiónpymescr.herokuapp.com

- d) *Mecanismo de obtención de resultados:* Al contestar los autodiagnósticos se obtendrá la calificación sobre el cumplimiento de los requisitos, tal y como se muestra a continuación.
- Para la Norma Pyme, la herramienta permite al usuario ver la calificación obtenida en cada cláusula que compone el cuestionario y también la general (Fig. 7). Además, mediante un gráfico radial, las pymes observan las brechas existentes en el cumplimiento de requisitos, las cuales deben ser cerradas por empresa para obtener la certificación del SIG (Fig. 8).



Figura 7. Despliegue de los resultados del autodiagnóstico de la Norma Pyme. Fuente: www.gestiónpymescr.herokuapp.com

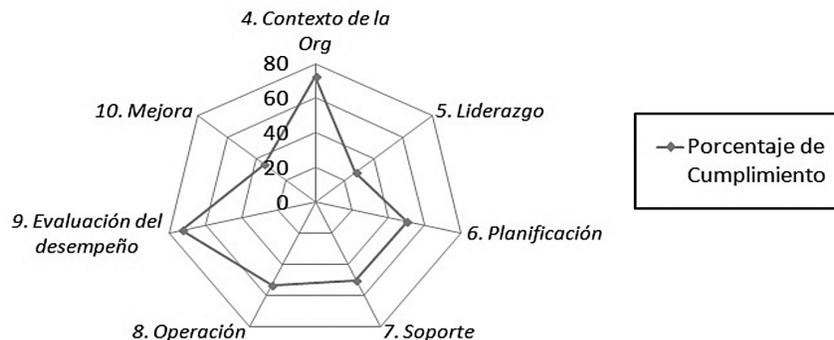


Figura 8. Gráfico de cierre de brechas en el cumplimiento de requisitos de la Norma Pyme. Fuente: www.gestiónpymescr.herokuapp.com

- Para el autodiagnóstico de la C-Neutralidad, a la pyme se le despliega una calificación por cada una de las etapas que compone dicho cuestionario y además una general (Fig. 9).

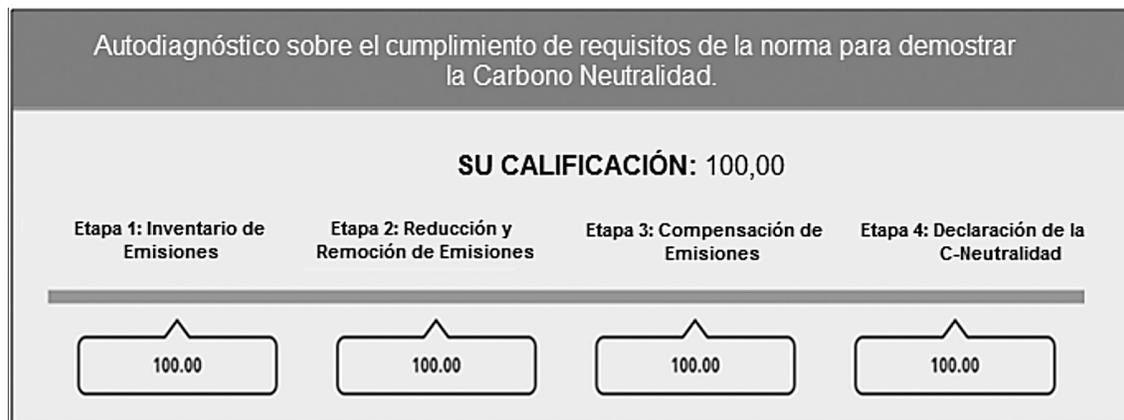


Figura 9. Despliegue de resultados de la norma C-Neutralidad. Fuente: www.gestiónpymescr.herokuapp.com

Beneficios de la HTA

La HTA creada permite el avance en la transformación de los sistemas productivos, lo cual, según el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO, 2011) es clave para alcanzar un modelo de desarrollo bajo en emisiones y la Carbono-Neutralidad del país. También propicia el cumplimiento de estándares internacionales sobre calidad y ambiente para la certificación de SIG, lo que, según el Proyecto PROCALIDAD (2014) es indispensable para tener acceso a los mercados internacionales y para diferenciarse de la competencia.

Otros beneficios que trae la creación de esta herramienta son los siguientes:

- La eliminación del uso de papel. Por ejemplo, durante la aplicación de las pruebas de juicio de expertos se tuvo que usar mucho este recurso porque los cuestionarios todavía no estaban en su versión digital final.
- Se evitan los costos que implica el proceso de responder los cuestionarios, ya que no se requieren encuestadores ni recursos humanos para el análisis de los datos.
- Ahorro de recursos económicos: Tal y como indica Biondi (1998), las empresas que carecen de capacidades de ecogestión terminan contratando profesionales externos para asesorarse. La HTA creada permite a las pymes obtener por sí solas un dato cuantitativo de su desempeño en el cumplimiento de los requisitos.
- Ahorro de tiempo: Un profesional externo puede durar más tiempo realizando un diagnóstico de la pyme, comparado con un empleado interno contestando alguno de los autodiagnósticos, considerando que este último conoce con más detalle la naturaleza de las actividades de su empresa. Por otro lado, la pyme puede responder el cuestionario en el momento que desee y la herramienta ofrece la posibilidad de ir guardando los avances.
- Aumentar el conocimiento sobre temas ambientales y de gestión. La HTA tiene potencial para facilitar la comprensión de conceptos clave y los pasos a seguir para cumplir las normas.

- Aumento de las opciones de financiamiento. El cumplimiento de las normas está ligado a cambios en la estructura productiva de la pyme; esos cambios pueden aprovecharse para emprender proyectos de desarrollo tecnológico e innovación, y así tendrán la posibilidad de calificar para obtener mayor financiamiento.

Las opiniones de los jueces que participaron en la prueba de juicio de expertos fueron positivas con respecto a la HTA, pues consideran que tiene potencial para mejorar las capacidades de gestión de las pymes. Además, indicaron que la versión digitalizada de los autodiagnósticos agiliza su aplicación y la generación de resultados es más precisa.

Experiencias en la implementación de la HTA

Con el fin de tener algunas experiencias en la implementación de la HTA en las pymes, dos empresas respondieron los cuestionarios, obteniéndose los siguientes resultados:

- *Autodiagnóstico Norma Pyme:* El gerente general de la microempresa Gluten Free Factory, Paulo Vargas, realizó el Autodiagnóstico de la Norma Pyme. En el momento en que esta empresa familiar respondió el cuestionario, se encontraba en el proceso de completar los requisitos para certificar su SIG. La empresa obtuvo una calificación general de 56,65%. Vargas comentó que la herramienta le permitió comprender con más claridad en qué consistía un SIG y cómo estaba estructurada la norma; antes solo sabía que tenía que cumplir una serie de requisitos sin un orden específico; ahora puede identificar más fácilmente cuáles requisitos le faltan y en cuáles cláusulas de la norma tiene un menor desempeño.
- *Autodiagnóstico Norma C-Neutralidad:* La empresa Florex, que es la única pyme en el país que ha obtenido un reconocimiento de C-Neutralidad, se sometió a este autodiagnóstico. Una vez que el Gestor Ambiental de esta mediana empresa contestó todas las preguntas, la calificación fue de 100% en el cumplimiento de los requisitos de la norma nacional para demostrar la C-Neutralidad. El Gestor indicó que la HTA le funcionó como una herramienta de auditoría interna, que le permite verificar de manera sencilla que se están cumpliendo todos los requisitos para poder renovar o mantener el reconocimiento de C-Neutralidad.

Conclusiones

Los dos cuestionarios de autodiagnóstico diseñados para las pymes permiten determinar el porcentaje de cumplimiento de los requisitos de la Norma Pyme y la Norma Nacional para demostrar la C-Neutralidad.

Los cuestionarios están compuestos por ítems cuya Razón de Validez de Contenido es mayor al mínimo permitido, de 0,5823, o sea, son relevantes y pertinentes para los autodiagnósticos.

Mediante la prueba de juicio de expertos se demostró que ambos cuestionarios tienen validez de contenido, ya que sus Índices de validez de contenido son mayores al mínimo permitido, de 0,5823.

La HTA contiene los cuestionarios validados sobre las normas Pyme y C-Neutralidad. Eso significa que está lista para ser utilizada en pymes y en proyectos que busquen mejorar la competitividad y el desempeño ambiental de estas empresas en Costa Rica.

Las empresas Gluten Free Factory y Florex aseguraron que la HTA les permitió saber cuál es su desempeño en la implementación de la Norma Pyme y la Norma C-Neutralidad, respectivamente.

La prueba del “juicio de expertos” y el Método Modificado de Lawshe permiten validar de forma efectiva el contenido de un cuestionario de autodiagnóstico.

Bibliografía

- Arribas, M. (2004). Diseño y validación de cuestionarios. *Matronas Profesión*, 5(17), 23-29. Obtenido de <http://www.federacion-matronas.org/>
- Biondi, V. (1998). *Environmental management system implementation by SMEs: EU experience and perspectives*. Italia: Greenleaf Publishing in association with GSE Research.
- Cartín, D. (2004). *Concentración de los Mercados de Exportación. Análisis de las PYMES*. Programa de Maestría en Economía, Universidad de Costa Rica.
- CCAD. (2008). *Herramienta de Autoevaluación, Taller de Formación de Consultores en Sistemas de Gestión Ambiental ISO 14001*. San José.
- Chaves, C. (junio, 2014). Elaboración de un protocolo de gestión ambiental para pymes de turismo rural comunitario en Costa Rica que facilite el proceso de reducción de la huella de carbono en sus actividades. *TURyDES*, 7(16). Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/turydes/16/huellas-carbono.html>
- Escobar, J. & Cuervo, A. (2008). Validez del contenido y juicio de expertos. Una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6(1), 27-36. Obtenido de http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf
- INTECO. (2011). INTE 12-06-01:2011, Norma nacional para demostrar las C-Neutralidad, requisitos. (2 ed.). San José.
- INTECO. (2013). INTE 01-01-09: 2013, Sistema integrado de gestión para micro, pequeñas y medianas empresas (PYME). Requisitos con orientación para su uso. San José.
- Lawshe, C. (1975). *A quantitative approach to content validity*. *Personnel Psychology*. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.9380&rep=rep1&type=pdf>
- Polit, D. & Hungler, B. (2000). *Investigación científica en Ciencias de la Salud: principios y métodos*. (6 ed.). México: McGraw Hill.
- Proyecto PROCALIDAD. (2014). *Metodología para la implementación de un Sistema de Gestión Integrado de Calidad y Ambiente para pymes con potencial exportador*. San José.
- Rubio, V. (2008). *La gestión ambiental en la pequeña y mediana empresa*. Obtenido de <http://www.ces.gva.es/pdf/conferencias/02/3.pdf>
- Tristán, A. (2008). Modificación al modelo de Lawshe para el dictamen cuantitativo de la validez de contenido de un instrumento objetivo. *Avances En Medición*, 6(1), 37-48.

Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica

Effect of pruning and plant density on yield and quality of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under greenhouse conditions in Costa Rica

José Eladio Monge-Pérez¹

Fecha de recepción: 30 de julio del 2015

Fecha de aprobación: 4 de noviembre del 2015

Monge-Pérez, J. Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 125-136.

¹ Costarricense, ingeniero agrónomo. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Teléfono: (506)2289-5969 y (506) 8819-3526. Correo electrónico: melonescr@yahoo.com.mx. Apdo. 665-4050.

Palabras clave

Pimiento; *Capsicum annuum*; invernadero; calidad; rendimiento; poda; densidad de siembra.

Resumen

En esta investigación se evaluó el efecto de dos tipos de poda (española y holandesa) y tres densidades de siembra (2,60; 3,25 y 3,90 plantas/m²) sobre el rendimiento y la calidad del pimiento cuadrado cv. Vikingo. Se obtuvieron más frutos totales por planta (14,71) pero de menor peso promedio (163,96 g) cuando se utilizó poda española que cuando se aplicó poda holandesa (10,65 frutos/planta; 180,30 g/fruto). Con la poda española se obtuvo un mayor número total de frutos/m² (46,99) y un mayor rendimiento total (76,35 ton/ha) y comercial (67,35 ton/ha) que con la poda holandesa (34,11 frutos/m²; 61,17 ton/ha y 52,37 ton/ha, respectivamente). La densidad de siembra no afectó el peso promedio total de los frutos ni el número total de frutos/m², pero el rendimiento total y comercial fue mayor a la densidad de 3,90 plantas/m² (75,75 y 65,83 ton/ha, respectivamente) y el número de frutos por planta fue mayor a la densidad de 2,60 plantas/m² (14,63 frutos/planta). Los tratamientos que presentaron el mayor rendimiento total y el mayor número de frutos totales/m² fueron la poda española, tanto a 2,60 plantas/m² (75,60 ton/ha; 45,01 frutos/m²) como a 3,90 plantas/m² (84,30 ton/ha; 52,90 frutos/m²).

Keywords

Bell pepper; *Capsicum annuum*; greenhouse; quality; yield; pruning; plant density.

Abstract

The effect of two types of pruning (Spanish and Dutch) and three planting densities (2,60; 3,25; and 3,90 plants/m²) on the yield and quality of bell pepper cv. Vikingo, was evaluated. Spanish pruning yields more total fruits per plant (14,71) but of less mean weight (163,96 g) than Dutch pruning (10,65 fruits/plant; 180,30 g/fruit). Spanish pruning yields more total fruits/m² (46,99) and higher total yield (76,35 ton/ha) and commercial yield (67,35 ton/ha) than Dutch pruning (34,11 fruits/m²; 61,17 ton/ha and 52,37 ton/ha, respectively). Plant density doesn't affect neither the total mean fruit weight nor the total number of fruits/m², but both total and commercial yield was higher at 3,90 plants/m² (75,75 and 65,83 ton/ha, respectively) and the number of fruits per plant was higher at 2,60 plants/m² (14,63 fruits/plant). Spanish pruning showed the highest total yield and the highest total number of fruits/m², both at 2,60 plants/m² (75,60 ton/ha; 45,01 fruits/m²) and 3,90 plants/m² (84,30 ton/ha; 52,90 fruits/m²).

Introducción

En Costa Rica, la producción hortícola bajo ambientes protegidos se inició a finales de los años 80, y estaba dirigida a la exportación de plantas ornamentales y flores. En 2003, el 89% de los invernaderos del país se encontraban en la Región Central (Occidental y Oriental); en ese año las principales hortalizas que se cultivaban bajo ambiente protegido eran chile dulce y tomate, que ocupaban 28% y 11% del área de los invernaderos del territorio nacional, respectivamente (Marín, s.f.). Entre 2008 y 2009, el área total de cultivo bajo invernadero de tomate y chile dulce a nivel nacional fue de 41 hectáreas (ha) (Marín, 2010).

El chile dulce es un cultivo rico en vitaminas, particularmente provitamina A, vitamina B y vitamina C, y minerales como calcio, fósforo, potasio y hierro (Maboko et al., 2012).

La rentabilidad de un cultivo hortícola en invernadero depende en gran parte de la obtención de un alto rendimiento y calidad por unidad de área. En el caso del pimiento en invernadero, una baja densidad de siembra aumenta la producción por planta pero disminuye la producción por unidad de área (Jovicich et al., 1999). En el caso de los pimientos, el peso del fruto (que está relacionado con su tamaño) es una variable muy importante, pues determina el precio del producto (Jovicich et al., 1999). La densidad de siembra afecta la intercepción de la luz por parte del cultivo y es un factor que puede utilizarse para mejorar el rendimiento de frutos por unidad de área. El tamaño de los frutos de pimiento en invernadero también se puede modificar mediante la poda de tallos (Jovicich et al., 1999), una práctica que mejora la intercepción de luz en el dosel, el cuaje de los frutos y su calidad (Jovicich et al., 2004). La combinación apropiada de densidad de siembra y sistema de poda permite optimizar la producción comercial por unidad de área (Aminifard et al., 2012; Jovicich et al., 2004).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos tipos de poda y tres densidades de siembra sobre el rendimiento y la calidad de un genotipo de pimiento con frutos de forma cuadrada, cultivado bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el invernadero del Programa de Hortalizas de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, Costa Rica, a una altitud de 883 msnm, con una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación anual promedio de 1940 mm distribuidos de mayo a noviembre.

Se utilizó el genotipo Vikingo, un híbrido de pimiento tipo cuadrado de color amarillo producido por la empresa Sakata. La siembra del almácigo se realizó el 30 de junio de 2010, en bandejas plásticas, y se utilizó como sustrato una mezcla de fibra de coco molida y abono orgánico, en una proporción 1:1; el trasplante se hizo el 7 de agosto del mismo año (38 dds). El cultivo se realizó en sacos de fibra de coco, de 1 m de largo, 20 cm de ancho y 15 cm de altura. La cosecha se inició 79 días después del trasplante (ddt) y se realizó una o dos veces a la semana, hasta el 6 de abril de 2011 (242 ddt). Se evaluaron dos tipos de poda y tres densidades de siembra; los seis tratamientos evaluados fueron:

Tratamiento	Tipo de poda	Densidad de siembra (plantas/m ²)
1	Española	2,60
2	Española	3,25
3	Española	3,90
4	Holandesa	2,60
5	Holandesa	3,25
6	Holandesa	3,90

La poda holandesa consiste en dirigir la planta a dos guías, eliminando posteriormente una de las dos bifurcaciones en que se va dividiendo cada rama (Gamayo, 1996), mientras que en la poda española la planta se deja a libre crecimiento (Jovicich et al., 2004). La poda holandesa se aplicó inicialmente el 14 de setiembre de 2010 (38 ddt) y luego se siguió realizando de manera periódica. Las densidades de siembra de 2,60; 3,25 y 3,90 plantas/m² corresponden a 4, 5

y 6 plantas por metro lineal (cada saco), respectivamente, con una distancia entre hileras de 1,54 m.

Las variables evaluadas fueron: altura de la planta al final del ciclo del cultivo (242 ddt), número de frutos (por planta y por m²) y su peso fresco promedio (g), según la categoría de calidad (primera, segunda, rechazo y total), así como rendimiento (ton/ha) según la categoría de calidad, y rendimiento comercial (calidades primera y segunda juntas). Las categorías de calidad se definieron según los siguientes parámetros:

Calidad Primera	Calidad Segunda	Rechazo
Dimensiones mínimas: 7,5 x 7,5 cm	Dimensiones inferiores a 7,5 x 7,5 cm	Dimensiones inferiores a 7,5 x 7,5 cm
Puntas bien definidas	Puntas deformes	Frutos muy deformes
Sin daños, manchas ni estrías	Manchas no mayores a 1 cm ² o estrías no mayores a 3 cm	Manchas mayores a 1 cm ² o estrías mayores a 3 cm
	Sin daños por plagas o enfermedades	Daños por plagas o enfermedades

El diseño experimental consistió en parcelas divididas (tipo de poda), con subparcelas (densidades) y cuatro repeticiones. La parcela consistió de 8, 10 o 12 plantas (2 sacos), y la parcela útil de las 4 plantas centrales. Para todas las variables se realizó un análisis estadístico de variancia, y se utilizó la prueba LSD Fisher con una significancia de 5% para la separación de medias.

Resultados y discusión

Para la variable altura de la planta a los 242 ddt, no hubo diferencias significativas por tipo de poda ni por densidad de siembra; la altura promedio de la planta fue de 108,8 cm.

En pimiento, se tienen informes de que la altura de la planta puede variar entre 49,31 y 223,5 cm (Grijalva-Contreras et al., 2008; Jovicich et al., 2004; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Reséndiz-Melgar et al., 2010); los resultados obtenidos en la presente investigación se ubican dentro de este rango. En algunas ocasiones, la altura de la planta es mayor conforme aumenta la densidad de siembra (Jovicich et al., 2004; Seifi et al., 2012), pero en otras se ha encontrado el resultado contrario (Aminifard et al., 2012) o no se han observado diferencias significativas entre diferentes densidades de siembra (Grijalva-Contreras et al., 2008; Reséndiz-Melgar et al., 2010), tal y como sucedió en la presente investigación. Con respecto a la influencia del número de tallos por planta sobre la altura de esta, Jovicich et al. (2004) encontraron que la altura es mayor en plantas con poda holandesa (2 tallos/planta), en comparación con plantas con poda española (que tiene más de 2 tallos/planta); mientras que Grijalva-Contreras et al. (2008) no observaron diferencias significativas para esta variable entre la poda a 2 y 4 tallos por planta, lo que es similar al resultado obtenido en el presente ensayo.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados para el número de frutos por planta. Los valores fueron significativamente mayores con la poda española con respecto a la poda holandesa, tanto en el número de frutos totales (14,71 y 10,65, respectivamente) como en el número de frutos de segunda calidad (6,83 y 4,54, respectivamente). En relación al efecto de la densidad de siembra sobre el número de frutos totales por planta, los resultados fueron significativamente

mayores, con una densidad de 2,60 plantas/m² (14,63 frutos/planta), en comparación con las densidades mayores (entre 11,63 y 11,78 frutos/planta).

El tratamiento de poda española a una densidad de 2,60 plantas/m² mostró los mayores valores para el número de frutos totales/planta (17,32) y para el número de frutos de primera calidad/planta (6,31), y esto fue estadísticamente diferente con respecto a los demás tratamientos.

En cuanto a la cantidad de frutos de segunda calidad por planta, todos los tratamientos de poda española produjeron un mayor número, en comparación con los tratamientos de poda holandesa tanto a 3,25 como a 3,90 plantas/m².

Cuadro 1. Número de frutos por planta, según la categoría de calidad, en el pimiento híbrido Vikingo

Efecto	Tratamiento	Número de frutos por planta, según calidad			
		Total	Primera	Segunda	Rechazo
Poda	Holandesa	10,65 b	3,96 a	4,54 b	2,13 a
	Española	14,71 a	4,85 a	6,83 a	3,04 a
	Densidad (plantas/m ²)	2,60	14,63 a	5,22 a	6,28 a
	3,25	11,78 b	4,31 ab	5,28 a	2,16 a
	3,90	11,63 b	3,69 b	5,50 a	2,44 a
Poda x Densidad (plantas/m ²)	Española x 2,60	17,32 a	6,31 a	7,13 a	3,88 a
	Española x 3,25	13,32 b	4,44 b	6,63 a	2,25 b
	Española x 3,90	13,56 b	3,81 b	6,75 a	3,00 ab
	Holandesa x 2,60	12,01 bc	4,13 b	5,44 ab	2,44 b
	Holandesa x 3,25	10,19 c	4,19 b	3,94 b	2,06 b
	Holandesa x 3,90	9,69 c	3,56 b	4,25 b	1,88 b

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Según diferentes investigadores, el número total de frutos de pimiento por planta puede variar entre 3,19 y 78,7 (Borosic et al., 2012; Cebula, 1995; Cruz-Huerta et al., 2009; Dasgan & Abak, 2003; Jovicich et al., 1999; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Quipildor, 2001; Reséndiz-Melgar et al., 2010); los resultados obtenidos en el presente ensayo se ubican dentro de este rango. En general, esta característica muestra valores mayores conforme disminuye la densidad de siembra (Cebula, 1995; Cruz-Huerta et al., 2009; Dasgan & Abak, 2003; Reséndiz-Melgar et al., 2010) y se dejan más tallos por planta (Cebula, 1995; Dasgan & Abak, 2003; Seifi et al., 2012), tal y como se evidenció también en el presente ensayo, pero Aranguiz (2002) no encontró diferencias significativas para esta variable al dejar 2, 3 y 4 tallos por planta.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados para el peso promedio del fruto. Los valores fueron significativamente mayores con la poda holandesa con respecto a la española, tanto en el peso promedio total (180,30 y 163,96 g, respectivamente) como en el peso de los frutos de segunda calidad (177,81 y 157,59 g, respectivamente) y de los frutos de rechazo (130,93 y 93,24 g, respectivamente). Con respecto al efecto de la densidad de siembra, solo se encontraron diferencias significativas para el peso promedio de los frutos de primera calidad, donde los valores fueron significativamente mayores con una densidad de 2,60 plantas/m² (221,78 g), en comparación con las densidades mayores (entre 207,48 y 210,75 g).

Cuadro 2. Peso promedio del fruto, según la categoría de calidad, en el pimiento híbrido Vikingo

Efecto	Tratamiento	Peso promedio del fruto (g), según calidad			
		Total	Primera	Segunda	Rechazo
Poda	Holandesa	180,30 a	210,84 a	177,81 a	130,93 a
	Española	163,96 b	215,83 a	157,59 b	93,24 b
Densidad (plantas/m ²)	2,60	175,86 a	221,78 a	164,46 a	119,43 a
	3,25	170,04 a	207,48 b	167,70 a	108,51 a
	3,90	170,49 a	210,75 b	170,94 a	108,31 a
Poda x Densidad (plantas/m ²)	Española x 2,60	169,20 ab	222,50 a	158,00 bc	105,00 ab
	Española x 3,25	161,30 b	210,30 ab	153,20 c	86,70 b
	Española x 3,90	161,40 b	214,80 ab	161,70 abc	88,08 b
	Holandesa x 2,60	182,50 a	221,10 a	171,00 abc	133,90 a
	Holandesa x 3,25	178,80 ab	204,70 b	182,30 a	130,30 a
	Holandesa x 3,90	179,60 ab	206,80 ab	180,20 ab	128,60 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En el caso del pimiento, se tienen informes de que el peso promedio del fruto puede variar entre 98,0 y 289,09 g (Borosic et al., 2012; Cebula, 1995; Grijalva-Contreras et al., 2006; Grijalva-Contreras et al., 2008; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Quipildor, 2001; Reséndiz-Melgar et al., 2010; Seifi et al., 2012; Shaw & Cantliffe, 2002; Vicente-Conesa et al., 2005); los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo se ubican dentro de este rango. En algunas ocasiones, esta variable muestra valores mayores conforme disminuye la densidad de siembra (Aminifard et al., 2012; Cruz-Huerta et al., 2009; Seifi et al., 2012), tal y como sucedió en la presente investigación para el peso de los frutos de primera calidad, pero en otras ocasiones no se presentaron diferencias entre distintas densidades de siembra (Dasgan & Abak, 2003; Grijalva-Contreras et al., 2008; Reséndiz-Melgar et al., 2010). Por otra parte, Seifi et al. (2012) y Rotondo et al. (2003) mencionan que el peso promedio del fruto es mayor conforme disminuye el número de tallos por planta, lo que constituye una mejora en su calidad, tal y como sucedió en

el presente ensayo para el peso promedio total y para el peso de los frutos de segunda calidad, los cuales fueron mayores con la poda holandesa en comparación con la poda española. Sin embargo, otros investigadores no han encontrado diferencias significativas para esta variable al dejar diferente número de tallos por planta (Aranguiz, 2002; Dasgan & Abak, 2003).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados para el rendimiento por hectárea.

Cuadro 3. Rendimiento por hectárea, según la categoría de calidad, en el pimiento híbrido Vikingo

Efecto	Tratamiento	Rendimiento (ton/ha), según calidad				
		Total	Comercial (Primera y segunda)	Primera	Segunda	Rechazo
Poda	Holandesa	61,17 b	52,37 b	26,66 b	25,71 b	8,80 a
	Española	76,35 a	67,35 a	32,91 a	34,44 a	9,00 a
Densidad (plantas/m ²)	2,60	65,83 b	56,50 b	30,10 a	26,40 b	9,33 a
	3,25	64,70 b	57,24 b	29,17 a	28,08 b	7,46 a
	3,90	75,75 a	65,83 a	30,08 a	35,75 a	9,92 a
Poda x densidad (plantas/m ²)	Española x 2,60	75,60 a	65,40 ab	36,60 a	28,80 bc	ns
	Española x 3,25	69,20 bc	62,80 abc	30,20 ab	32,60 b	ns
	Española x 3,90	84,30 a	73,80 a	31,90 ab	41,90 a	ns
	Holandesa x 2,60	56,10 d	47,60 d	23,60 b	24,00 c	ns
	Holandesa x 3,25	60,10 cd	51,60 cd	28,10 ab	23,50 c	ns
	Holandesa x 3,90	67,30 bcd	57,90 bcd	28,30 ab	29,60 bc	ns

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Los valores fueron significativamente mayores con la poda española con respecto a la poda holandesa, tanto para el rendimiento total (76,35 y 61,17 ton/ha, respectivamente) como para el rendimiento comercial (67,35 y 52,37 ton/ha, respectivamente), el de frutos de primera calidad (32,91 y 26,66 ton/ha, respectivamente) y el de frutos de segunda calidad (34,44 y 25,71 ton/ha, respectivamente). Por otra parte, los resultados fueron significativamente mayores con una densidad de 3,90 plantas/m² en comparación con las densidades menores, tanto para el rendimiento total (75,75 y entre 64,70 y 65,83 ton/ha, respectivamente) como para el comercial (65,83 y entre 56,50 y 57,24 ton/ha, respectivamente) y para el rendimiento de segunda calidad (35,75 y entre 26,40 y 28,08 ton/ha, respectivamente).

Los mayores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos de poda española, tanto a 2,60 como a 3,90 plantas/m² (75,60 y 84,30 ton/ha, respectivamente), y estos valores fueron significativamente superiores con respecto a los demás tratamientos (entre 56,10 y 69,20 ton/ha).

Según diversas investigaciones, el rendimiento total en pimiento puede variar entre 7,67 y 171,8 ton/ha (Aminifard et al., 2012; Borosic et al., 2012; Cebula, 1995; Grijalva-Contreras et al., 2006; Grijalva-Contreras et al., 2008; Iglesias et al., s.f.; Jovicich et al., 1999; Jovicich et al., 2004; Lorenzo & Castilla, 1995; Maboko et al., 2012; Maniutiu et al., 2010; Monsalve et al., 2011; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Quipildor, 2001; Reséndiz-Melgar et al., 2010; Rotondo et al., 2003; Seifi et al., 2012; Shaw & Cantliffe, 2002; Vicente-Conesa & Sáez-García, 2004; Vicente-Conesa et al., 2005); los resultados obtenidos en el presente ensayo se ubican dentro de este rango. Generalmente, el rendimiento total por área es mayor conforme aumenta la densidad de siembra (Aminifard et al., 2012; Cebula, 1995; Jovicich et al., 1999; Jovicich et al., 2004; Lorenzo & Castilla, 1995; Maboko et al., 2012; Maniutiu et al., 2010; Rotondo et al., 2003; Seifi et al., 2012), tal y como sucedió en la presente investigación. Sin embargo, en otros ensayos no se han determinado diferencias significativas entre distintas densidades de siembra (Grijalva-Contreras et al., 2008; Reséndiz-Melgar et al., 2010; Vicente-Conesa & Sáez-García, 2004). Por otra parte, en varias investigaciones se ha encontrado que el rendimiento total por área es mayor conforme aumenta el número de tallos por planta (Dasgan & Abak, 2003; Jovicich et al., 1999; Maboko et al., 2012; Seifi et al., 2012; Vicente-Conesa et al., 2005), tal y como sucedió en el presente ensayo, donde el rendimiento fue mayor con la poda española que con la holandesa, lo cual se asocia a una mayor eficiencia de la planta debido a un mayor índice de área foliar (Dasgan & Abak, 2003). No obstante, otros investigadores han encontrado resultados contrarios (Cebula, 1995; Rotondo et al., 2003) o no han observado diferencias al utilizar un diferente número de tallos por planta (Aranguiz, 2002; Grijalva-Contreras et al., 2008; Vicente-Conesa & Sáez-García, 2004).

Según Cruz-Huerta et al. (2009), con la poda holandesa se obtienen rendimientos de 100–200 ton/ha, mientras que con la española el rendimiento es de 50–80 ton/ha. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron en la presente investigación muestran lo contrario, pues el rendimiento total fue mayor con la poda española (76,35 ton/ha) que con la poda holandesa (61,17 ton/ha).

Según diversos investigadores, el rendimiento comercial del pimiento varía entre 16,76 y 74,00 ton/ha (Cruz-Huerta et al., 2009; Iglesias et al., s.f.; Jovicich et al., 2004; Lorenzo & Castilla, 1995; Macua et al., 2010; Maboko et al., 2012; Paunero, 2008; Wahb-Allah, 2013); el rendimiento comercial obtenido en el presente ensayo (entre 47,60 y 73,80 ton/ha) se ubica dentro de dicho rango.

Los resultados obtenidos en la presente evaluación concuerdan con lo informado por otros investigadores, que obtuvieron un mayor rendimiento comercial por área conforme aumenta la densidad de siembra (Cruz-Huerta et al., 2009; Jovicich et al., 2004; Lorenzo & Castilla, 1995; Maboko et al., 2012), y también con lo obtenido por Maboko et al. (2012), quienes encontraron un mayor rendimiento comercial al aumentar el número de tallos por planta.

En forma contraria a lo obtenido en el presente ensayo, Jovicich et al. (2004) encontraron que no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento comercial entre plantas tratadas con poda española y las tratadas con poda holandesa.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados para el número de frutos/m². Los valores fueron significativamente mayores con la poda española con respecto a la poda holandesa, tanto en el número de frutos totales/m² (46,99 y 34,11, respectivamente) como en el número de frutos de segunda calidad/m² (22,13 y 14,51 respectivamente). No se hallaron diferencias significativas

entre densidades de siembra para ninguna de las categorías de calidad para esta variable. El mayor número total de frutos/m² se obtuvo con el tratamiento de poda española a 3,90 plantas/m² (52,90 frutos/m²), y este resultado fue significativamente diferente de los demás tratamientos, excepto el de la poda española a 2,60 plantas/m² (45,01 frutos/m²). Sin embargo, sí se presentaron diferencias significativas en el número de frutos de segunda calidad/m² entre estos dos tratamientos, siendo mayor con la poda española a 3,90 plantas/m² (26,33 frutos/m²) con respecto a la poda española a 2,60 plantas/m² (18,53 frutos/m²).

Cuadro 4. Número de frutos por metro cuadrado, según la categoría de calidad, en el pimiento híbrido Vikingo

Efecto	Tratamiento	Número de frutos/m ² , según calidad			
		Total	Primera	Segunda	Rechazo
Poda	Holandesa	34,11 b	12,74 a	14,51 b	6,79 a
	Española	46,99 a	15,24 a	22,13 a	9,70 a
Densidad (plantas/m ²)	2,60	38,03 a	13,57 a	16,33 a	8,21 a
	3,25	38,29 a	14,02 a	17,17 a	7,01 a
	3,90	45,34 a	14,39 a	21,45 a	9,51 a
Poda x Densidad (plantas/m ²)	Española x 2,60	45,01 ab	16,41 a	18,53 bc	10,08 ab
	Española x 3,25	43,07 b	14,42 ab	21,53 ab	7,32 ab
	Española x 3,90	52,90 a	14,87 ab	26,33 a	11,71 a
	Holandesa x 2,60	31,04 c	10,73 b	14,14 cd	6,34 b
	Holandesa x 3,25	33,52 c	13,61 ab	12,80 d	6,71 b
	Holandesa x 3,90	37,78 bc	13,90 ab	16,58 bcd	7,32 ab

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En el caso del pimiento se tienen informes de que el número total de frutos/m² puede variar entre 7,0 y 129,79 (Aranguiz, 2002; Cebula, 1995; Cruz-Huerta et al., 2009; Dasgan & Abak, 2003; Jovicich et al., 1999; Jovicich et al., 2004; Maboko et al., 2012; Reséndiz-Melgar et al., 2010; Shaw & Cantliffe, 2002); los resultados encontrados en la presente investigación se ubican dentro de este rango. Generalmente, el número total de frutos/m² es mayor conforme aumenta la densidad de siembra (Cebula, 1995; Cruz-Huerta et al., 2009; Dasgan & Abak, 2003; Jovicich et al., 1999; Jovicich et al., 2004); sin embargo, Reséndiz-Melgar et al. (2010) no encontraron diferencias entre distintas densidades de siembra para esta variable, tal y como sucedió también en el presente estudio. Algunas veces, el número total de frutos/m² es mayor conforme aumenta el número de tallos por planta (Jovicich et al., 1999), lo que también se evidenció en

esta investigación, tanto para el caso del número total de frutos/m² como para el número de frutos de segunda calidad/m², los cuales fueron mayores con la poda española que con la poda holandesa, como se comentó anteriormente; sin embargo, en otras ocasiones se han encontrado resultados contrarios (Cebula, 1995; Dasgan & Abak, 2003) o no se han encontrado diferencias para esta variable al utilizar distinto número de tallos por planta (Aranguiz, 2002; Jovicich et al., 2004).

Maboko et al. (2012) y Jovicich et al. (2004) encontraron diferencias significativas para el número de frutos comerciales/m² según la densidad de siembra, siendo mayor el valor conforme aumenta la densidad, pero en el presente ensayo no hubo diferencias entre ninguna de las categorías comerciales de pimiento, según las diferentes densidades de siembra. Maboko et al. (2012) también hallaron diferencias significativas para esta variable según el tipo de poda, siendo mayor cuando se dejaron 4 tallos por planta, en comparación a 2 ó 3 tallos por planta, lo que concuerda con los resultados de la presente investigación en el caso de los frutos de segunda calidad, dado que el número de frutos/m² fue mayor con la poda española que con la holandesa para dicha categoría de calidad. No obstante, Jovicich et al. (2004), al evaluar el número de frutos comerciales/m², no encontraron diferencias entre la poda española y la poda holandesa.

La poda española representa un ahorro del 75% de los costos de mano de obra en comparación con la holandesa (Jovicich et al., 2004). Según dichos autores, la poda holandesa a veces produce frutos con mayor calidad (tamaño del fruto uniforme, mayor grosor del pericarpio) que la poda española, pero el aumento en los gastos de mano de obra requerida para la implementación de la misma ha hecho que muchos productores no la hayan adoptado.

Dado que el tratamiento de poda española, a una densidad de 2,60 plantas/m², fue uno de los dos tratamientos que mostró el mayor rendimiento y el mayor número de frutos totales/m² (junto con la poda española a 3,90 plantas/m²), y que fue el que produjo la mayor cantidad de frutos de primera calidad por planta, se sugiere que es el tratamiento más recomendable para este genotipo en esta localidad desde el punto de vista económico, pues se requiere menos semilla que con el de poda española a 3,90 plantas/m².

Conclusiones y recomendaciones

La densidad de siembra y el tipo de poda evaluados no tuvieron efecto significativo sobre la altura de la planta de pimiento híbrido Vikingo a los 242 ddt.

Se obtuvieron más frutos totales por planta (pero de menor peso promedio) cuando se utilizó la poda española que cuando se implementó la poda holandesa. El número de frutos totales por planta fue mayor al utilizar una densidad de siembra de 2,60 plantas/m², que al usar densidades mayores.

Con la poda española se obtuvo un mayor número total de frutos/m² y un mayor rendimiento total y comercial que con la poda holandesa.

La densidad de siembra no afectó el peso promedio de los frutos ni el número total de frutos/m², pero el rendimiento total y comercial sí fue mayor a la densidad más alta.

Los tratamientos que presentaron el mayor rendimiento total y el mayor número de frutos totales/m² fueron la poda española, tanto a una densidad de siembra de 2,60 como de 3,90 plantas/m². Sin embargo, dado que no hay diferencias significativas entre ellos, desde el punto de vista económico se recomienda el uso de la poda española a una densidad de 2,60 plantas/m², pues los costos son menores ya que se requiere menos semilla.

Agradecimientos

El autor agradece el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Florida, así como de la Universidad de Costa Rica, para la realización de este trabajo. Asimismo, agradece la colaboración de Jendry Portilla, Cristina Arguedas, Jorge Díaz, Julio Vega y Carlos González en el trabajo de campo.

Bibliografía

- Aminifard, M.H., Aroiee, H., Ameri, A. & Fatemi, H. (2012). Effect of plant density and nitrogen fertilizer on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(6), 859-866.
- Aranguiz, M. (2002). *Efecto de tres sistemas de poda sobre el rendimiento, calidad y asimilados en dos cultivares de pimiento (Capsicum annuum var. grossum L.) producidos orgánicamente bajo invernadero*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo, Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile.
- Borosic, J., Benko, B., Fabek, S., Novak, B., Dobricevic, N. & Bucan, L. (2012). Agronomic traits of soilless grown bell pepper. *Acta Horticulturae*, 927, 421-428.
- Cebula, S. (1995). Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Horticulturae*, 412, 321-329.
- Cruz-Huerta, N., Sánchez, F., Ortiz, J. & Mendoza, M. C. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México*, 35(1), 70-77.
- Dasgan, H.Y. & Abak, K. (2003). Effects of plant density and number of shoots on yield and fruit characteristics of peppers grown in glasshouses. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 27, 29-35.
- Gamayo, J.D. (1996). *El cultivo protegido de pimiento*. En A. Namesny (Ed.). *Pimientos. Compendios de Horticultura*. 9 (pp. 33-40). España: Ediciones de Horticultura.
- Grijalva-Contreras, R.L., Macías-Duarte, R. & Robles-Contreras, F. (2008). Productividad y calidad de variedades y densidades de chile bell pepper bajo condiciones de invernadero en el Noroeste de Sonora. *Biotecnia (México)*, 10(3), 3-10.
- Grijalva-Contreras, R.L., Macías-Duarte, R., Robles-Contreras, F. & Valenzuela-Ruiz, M.J. (2006). Productivity and fruit quality of bell pepper under greenhouse conditions in Northwest Mexico. *Hort Science*, 41(4), 1075.
- Iglesias, N., Roma, F. & Pasini, C. (s.f.). *Evaluación de la productividad de cultivares de pimiento (Capsicum annuum) en invernadero en el Alto Valle de Río Negro (temporada 2008/09)*. Alto Valle, Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Obtenido de http://inta.gov.ar/documentos/evaluacion-de-la-productividad-de-cultivares-de-pimiento-capsicum-annuum-en-invernadero-en-el-alto-valle-de-rio-negro/at_multi_download/file/PimientoInvernadero08-09.pdf
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J. & Hochmuth, G.J. (1999). Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida. En K. D. Batal (Ed.), *Proceedings 28th National Agricultural Plastics Congress* (pp. 184-190). Tallahassee, Florida, 19-22 mayo.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J. & Stoffella, P.J. (2004). Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container, and trellis system. *Hort Technology*, 14(4), 507-513.
- Lorenzo, P. & Castilla, N. (1995). Bell pepper yield response to plant density and radiation in unheated plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*, 412, 330-334.
- Maboko, M.M., Du Plooy, C.P. & Chiloane, S. (2012). Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper in a shadenet structure. *African Journal of Agricultural Research*, 7(11), 1742-1748.
- Maniutiu, D., Sima, R., Apahidean, A.S., Apahidean, M. & Ficior, D. (2010). The influence of plant density and shoot pruning on yield of bell pepper cultivated in plastic tunnel. *Bulletin UASVM Horticulture*, 67(1), 259-263.
- Marín, F. (s.f.). *Situación general de la agricultura protegida en Costa Rica*. San José: Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pronap01-ambiente-prottegido.pdf>
- Marín, F. (2010). *Cuantificación y valoración de estructuras y procesos de producción agrícola bajo ambientes protegidos en Costa Rica*. Informe final Proyecto Fittacori F-02-08. San José: Programa Nacional Sectorial de



Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00290.pdf>

- Monsalve, O.I., Casilimas, H.A. & Bojacá, C.R. (2011). Evaluación técnica y económica del pepino y el pimentón como alternativas al tomate bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(1), 69-82.
- Moreno, E.C., Mora, R., Sánchez, F. & García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(edición especial 2), 5-18.
- Paunero, I. (2008). *Evaluación de cultivares de pimiento 2006/07*. Serie Informe Frutihortícola. (272), 21. San Pedro, Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Obtenido de http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-de-cultivares-de-pimiento-2006-07/at_multi_download/file/ip_0706.pdf
- Quipildor, L. (2001). Evaluación de cultivares de pimiento en invernadero en Lules, Tucumán. *Horizonte Agroalimentario*, 2(3), 18-19.
- Reséndiz-Melgar, R.C., Moreno-Pérez, E.C., Sánchez-Del Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J.E. & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 223-229.
- Rotondo, R., Mondino, M.C., Ferratto, J.A., Grasso, R. & Longo, A. (2003). Efecto de la poda de conducción, raleo de frutos y densidad de plantación sobre la productividad del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), bajo invernadero. *Horticultura Argentina*, 22(53), 5-9.
- Seifi, S., Nemat, S.H., Shoor, M. & Abedi, B. (2012). The effect of plant density and shoot pruning on growth and yield of two greenhouse bell pepper cultivars. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(11), 77-83.
- Shaw, N.L. & Cantliffe, D.J. (2002). Brightly colored pepper cultivars for greenhouse production in Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 115, 236-241.
- Vicente-Conesa, F.E., Condés-Rodríguez, L.F., Sáez-García, M.J. & García-García, A.J. (2005). *Valoración de densidades y eliminación de tallos y frutos en cultivo de pimiento tipo California*. En *34 Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura, Murcia, 2004* (pp. 293-314). España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Vicente-Conesa, F.E. & Sáez-García, M.J. (2004). *Comparación de poda a dos guías, a tres guías, aclareo de tallos y cultivo libre en cultivo integrado de pimiento en invernadero*. En *31 Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura, Almagro, Ciudad Real, 2001* (pp. 233-237). España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Wahb-Allah, M.A. (2013). Responses of some bell-pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars to salt stress under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural & Environmental Sciences of Damanshour University* (Egipto), 12(1), 1-19.

Percepción comunitaria de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble-Puntarenas, Costa Rica

Community perception of odors generated by the Wastewater Treatment Plant El Roble-Puntarenas, Costa Rica

Luz Elena Sáenz¹, Diana A. Zambrano², Jorge A. Calvo³

Fecha de recepción: 24 de marzo del 2015

Fecha de aprobación: 3 de agosto del 2015

Sáenz, L; Zambrano, D; Calvo, J. Percepción comunitaria de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble-Puntarenas, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 2, Abril-Junio 2016. Pág 137-149.

1 Ingeniera Ambiental, Escuela de Química, Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: lucesaenz001@gmail.com.

2 Profesor/Investigador. Escuela de Química, Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: dzambrano@itcr.ac.cr.

3 Profesor/Investigador. Escuela de Química, Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jcalvo@itcr.ac.cr.

Palabras clave

Olores; percepción; PTAR.

Resumen

En Costa Rica existen numerosas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y estaciones de bombeo que impulsan el agua hacia ellas. Las aguas residuales, por las características de los componentes disueltos en ellas y los procesos a los que se da lugar, en general producen malos olores, que afectan el bienestar y la calidad de vida de las personas. No obstante, en el diseño y construcción no se han incluido medidas de mitigación apropiadas. Para evaluar las características de estos gases en el ambiente existen equipos de olfatometría, pero esta técnica resulta costosa. Considerando la capacidad sensorial, se desarrolló un método mediante encuestas para identificar el radio de influencia y otras características de los olores generados en la PTAR de El Roble de Puntarenas, la cual es un punto crítico por la influencia turística de la zona. En un radio de 800 m a la redonda se realizaron 256 encuestas, de éstas el 76% indica que si siente los olores emitidos por la PTAR cuyo radio de influencia es a los 600 m, el 57% indican que los olores son fuertes, el 83% los percibe como fecal. Las franjas horarias a las cuales se sienten más los olores son: 6:00 a 9:00, 15:00 a las 21:00, así como invierno es la época del año en la cual se perciben más los olores.

Keywords

Odors; perception; wastewater treatment plant.

Abstract

In Costa Rica, many Wastewater Pumping Stations (WPS) and Wastewater Treatment Plants (WTP) have been implemented. The wastewater, due to its dissolved compounds together with the decomposition process in which it is involved, produces strong odors (or bad odor) affecting the comfort and life quality of the citizens closer to plant sites. Despite this, during the design and construction process, appropriate mitigation actions have not been included. In order to evaluate the properties of these gases in the environments, there is olfactometry equipment available, however, it is an expensive technique. Considering the sensory capacity, a method was developed by the application of surveys in order to identify the influence radius and other characteristics of the odors generated in El Roble-Puntarenas WTP. This WTP is considered a critical point owing to its influences in tourism services. In total, 256 surveys were made within a radius of 800 m. 76% of the surveys indicated that the odors emitted by the WTP were perceived within a radius of 600m, where 57% of the surveyees indicated that they perceived strong odors and 83% perceived fecal like odors. The time-slots in which the odors were perceived more intensely were from 6:00 to 9:00, 15:00 to 21:00. Likewise, more odors were perceived during the rainy season.

Introducción

Desde hace muchas décadas, se sabe que producto de las actividades humanas ya sea de forma directa o indirectamente se generan olores que ocasionan molestia y daños a la salud de las poblaciones vecinas (Capelli, Sironi, Del Rosso, & Guillot, 2013), actualmente el país carece de legislación que controle las emisiones de olores y la investigación en el tema son escasas.

La PTAR de El Roble de Puntarenas es un sistema que se ha caracterizado por la emisión de olores y ha provocado molestias en la población aledaña, lo que se ha evidenciado mediante denuncias presentadas ante el Ministerio de Salud. Identificar el radio de influencia es un primer paso en las acciones requeridas para una adecuada gestión del problema. Dado el alto costo de las técnicas de olfatometría, en este artículo se presenta una metodología mediante encuestas, cuyos resultados permiten determinar la percepción comunitaria del impacto de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble de Puntarenas, Costa Rica, sus características y radios de influencia.

Emisiones atmosféricas de las PTAR

El odorante es el compuesto responsable de producir un olor, mientras el olor es el efecto percibido cuando el odorante ha sido detectado e interpretado por el ser humano a través de su sistema olfativo sensorial (Carrera-Chapela, Donoso-Bravo, Souto & Ruiz-Filippi, 2014). La percepción y la tolerancia de un olor dependen de las experiencias personales y asociaciones emocionales de cada individuo y pueden variar de una persona a otra en función de la edad, el sexo y el estado de salud (Lehtinen & Veijanen, 2010).

Cuando una población está expuesta a un mismo olor durante un largo período de tiempo, pueden ocurrir los fenómenos de sensibilización y desensibilización. El primero significa que el olor es percibido y se evidencia en un aumento de las quejas de la población, mientras que la desensibilización ocurre cuando los habitantes de una comunidad dejan de percibir el olor (Lehtinen & Veijanen, 2010).

Los compuestos olorosos se encuentran en los influentes de las aguas residuales o son generados durante el transporte o los procesos de tratamiento (Lehtinen & Veijanen, 2010). Cualquier planta de tratamiento de aguas residuales mal diseñada y/o mal operada, sea de tipo fisicoquímico o biológico (aerobia o anaerobia), es susceptible de emitir olores (Morgan Sagastume, Revah Moiseev & Noyola Robles, 2000); lo que también ocurre en presencia de condiciones anóxicas y/o cuando la aireación no es correcta. El pH, la temperatura y el tiempo de retención también tienen un gran efecto sobre las características del olor en las diferentes etapas del proceso de tratamiento (Lehtinen & Veijanen, 2010). Además, cuando las condiciones meteorológicas no son favorables, por ejemplo, alta humedad y temperatura, clases atmosféricas moderadas o estables (Stellacci, Liberti, Notarnicola & Haas, 2010).

Los factores que afectan la liberación de gases odoríferos a la atmósfera son: la solubilidad del gas disuelto, la concentración del compuesto en las fases gaseosa y líquida, el conjunto de coeficientes de transferencia de masa volumétricos (afectados por la turbulencia), la temperatura, ya que a mayor temperatura hay un descenso de la solubilidad del gas y mayor tasa de transferencia; así como el pH, debido a que un pH ácido favorece la liberación de H_2S y un pH alcalino favorece la liberación de amoníaco (Arriagada Monreal, 2008). Los mayores porcentajes de emisión de olores en PTAR de lodos activados se encuentran en el tratamiento de lodos y en las etapas de pretratamiento.

Odorantes presentes en PTAR

Entre los compuestos emitidos se encuentran los gases orgánicos, inorgánicos y vapores, que proceden de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica con contenido de azufre y nitrógeno, entre ellos el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco, considerados los principales causantes de los olores (Cheng, Peterkin, & Burlingame, 2005).

Según Burgueses y Stuetz (2002), en las aguas residuales ordinarias hay presencia de sustancias odorantes tales como los alifáticos, aromáticos e hidrocarburos clorados; mientras que Lebrero,

Bouchy, Stuetz y Muñoz (2011) indican que también hay presencia de aldehídos, escatol, inodol y ácidos grasos. En concentraciones más bajas se pueden encontrar los compuestos orgánicos volátiles, mercaptanos como: metil tiol, dimetil sulfuro y el dimetil disulfuro (Dincer & Muezzinoglu, 2007). En el Cuadro 1 se muestra la composición de los olores en PTAR y algunas de sus propiedades físico-químicas.

Cuadro 1. Composición de los olores en las PTAR

Clasificación	Compuesto	Fórmula química	Olor al que se asemeja	Peso molecular g/mol	Composición en el aire ¹ en ppm	Composición en el agua ² ppm	Solubilidad en agua g/ml	Volatilidad a 25 °C Ppm(v/v)
Sulfuros	Metilmercaptano	CH ₃ SH	Repollo podrido	48	10-50	11-322	0.023 ⁴	Gas
	Dimetilsulfuro	(CH ₃) ₂ SH	Ajo	186		3-27		830000
	Sulfuro de hidrogeno	H ₂ S	Huevo podrido	34	200-10.000	15-38	0.005 ⁴	
Nitrogenados	Trimetil amina	(CH ₃) ₃ N	Pescado Amoniacal	59	10-50	78 ³		Gas
	Dimetil amina	(CH ₃) ₂ NH	Amoniacal	45		210 ³	3.54 ⁴	
	Indol	C ₈ H ₆ NH	Fecal	117		570 ³	0.0019 ⁴	360
	Escatol	C ₉ H ₆ NH	Fecal	131		700 ³	Insoluble	200
	Amoniaco	NH ₃	Irritante	17		35-60	0.899 ⁵	Gas
	Compuestos orgánicos volátiles	VOC'S		46-176				

1 Composición corresponde a aire seco y condiciones anaerobias de una PTAR

2 Influyente de una PTAR

3 Promedio

4 a 20 °C

5 A 0 °C

Fuente: Stuetz & Frechen (2001)

Implicaciones para la salud de la exposición a odorantes

Los compuestos odorantes causan impactos en la salud debido a su naturaleza tóxica, ocasionan corrosión en las tuberías y equipos principalmente el sulfuro de hidrógeno (Muñoz et al., 2010) resulting in complaints to wastewater operators. Due to the variability in hedonic tone and chemical character of odorous emissions, no analytical technique can be applied universally for the assessment of odour abatement performance. Recent developments in analytical methodologies, specifically gas chromatography, odour assessment approaches (odour wheels, the odour profile method and dynamic olfactometry. Estos odorantes también ocasionan molestias en las poblaciones cercanas a las PTAR (Madriz Medeiros, 2011) y se consideran la principal causa de rechazo al establecimiento de PTAR (Metcalf & Eddy, 1996).

Entre los efectos que tienen para la salud humana están: disminución del apetito, náuseas, dolor de cabeza (Stellacci et al., 2010), reducción del consumo de agua, desequilibrios respiratorios, vómitos y perturbaciones mentales. En condiciones extremas, pueden contribuir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones interpersonales y reducir el desarrollo de la comunidad (Metcalf & Eddy, 1996). El Cuadro 2 detalla la toxicidad de los principales odorantes en una PTAR.

Cuadro 2. Toxicidad de dos odorantes

Concentración	Sulfuro de hidrógeno	Amoniaco
≤ 150 ppm	-Irritación ¹	-Irritación leve ²
500 ppm	-Dolor de cabeza ¹ -Mareos ¹	-Irritación marcada ² -Tos ² -Incremento de la presión de la sangre ²
≤1000ppm	-Pérdida de conciencia ¹ -te< 30 min Muerte ¹	-Lesión en el ojo. ² Muerte en minutos a una 10000 ppm ²

Fuente: 1 Walsk (2014) 2 Pública (2007)

Dispersión de olores

La dispersión de los olores se ve afectada por factores meteorológicos (estación, hora del día, condiciones atmosféricas como turbulencia, velocidad y dirección del viento, capa de mezcla, humedad y temperatura), así como por la presencia de obstáculos físicos: edificios altos, árboles grandes, entre otros (Stellacci et al., 2010). La dirección del viento es importante porque determina hacia dónde se dirige el olor y permite saber si las fuentes emisoras se encuentran en el sotavento de los receptores, mientras que la velocidad del viento y la estabilidad de la atmósfera influyen en la turbulencia, ya que a mayor turbulencia, mejor es la mezcla y por lo tanto la dispersión; cuando hay presencia de velocidades de viento altas, las concentraciones de olor son menores (Stuetz & Frechen, 2001). Si hay condiciones calmas, (velocidades menores a 1 m/s), significa que las direcciones del viento son variables en un período corto de tiempo (Marysville, Castro & Porter, 2014).

La altura de emisión de las sustancias olorosas no es un factor importante en la dispersión de fuentes emitidas a nivel de suelo, ya que provocan que la dispersión sea a pocos metros de éste y lentamente; mientras que la temperatura ambiente es un factor que determina la distancia a la que son transportados los compuestos olorosos pues a mayor temperatura, mayor distancia (Barclay, Diaz & Cartelle, 2014). El movimiento vertical del aire en la atmósfera depende de la estabilidad atmosférica y esta a su vez depende de la temperatura entre una porción del aire y el aire que lo rodea. El grado de estabilidad atmosférica se determina mediante el uso de las clases de estabilidad de Pasquill-Gifford (cuadros 3 y 4), las cuales se dividen en seis categorías que describen la capacidad de dispersión de la atmósfera y van de la A a la F (Stuetz & Frechen, 2001).

Cuadro 3. Clases de estabilidad de Pasquill-Gifford

Velocidad del viento (m/s) a 10 m de altura	Día			Noche	
	Radiación solar incidente (1)			4/8 ≤Nubosidad≤7/8	Nubosidad ≤3/8
	Fuerte > 50 cal/cm2h	Moderada 25 < x < 50 cal/cm2h	Débil ≤ 25 cal/cm2h		
<2	A	A-B	B	F	F
2 a 3	A-B	B	C	E	F
3 a 5	B	B-C	C	D	E
5 a 6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Cuadro 4. Características de las condiciones de estabilidad atmosférica

Clase de estabilidad	Condición	Cuando se producen	Como es el movimiento vertical de una porción de aire	Generalidades
A	Extremadamente inestable	Día	Asciende y desciende	Asciende (en la mañana cuando se da la ruptura de la capa estable debido al calentamiento solar) y desciende (en la tarde cuando disminuye el flujo de calor solar). Los olores se transportan a distancias cortas (Barclay et al., 2014)
B	Moderadamente inestable			
C	Ligeramente inestable			
D	Neutra	Día /Noche	No se propicia ni se inhibe	Presencia de viento y cuando hay nubes que impiden el calentamiento o enfriamiento de la superficie
E	Estable	Noche	Se encuentra inhibido	Viento escaso o nulo Los olores se transportan a distancias largas (Barclay et al., 2014)
F	Muy estable	Noche		

Fuente: Adaptado de Herrera Murillo (2014)

Las condiciones que más favorecen la dispersión de los olores generados en las PTAR se dan durante la noche, debido al aumento de la estabilidad atmosférica asociada con vientos calmos, baja turbulencia y la presencia de inversiones térmicas, lo que restringe la dispersión vertical de los olores liberados cerca del nivel del suelo. Si se ocasiona una inversión térmica –fenómeno producido cuando la temperatura aumenta con la altitud y restringe el transporte vertical de los contaminantes (Herrera Murillo, 2014)–, se inhibe el mezclado y es por eso que los olores se perciben más en la noche (Barclay et al., 2014).

Metodología

Caracterización del área de estudio: Costa Rica, provincia de Puntarenas, distrito de El Roble cerca del océano Pacífico (Fig. 1). Esta zona presenta dos estaciones: invierno (diciembre-abril) y verano (mayo-noviembre), la humedad relativa oscila entre 30% y 90%, la precipitación media anual es de 118 mm y la temperatura de 23 °C a 30 °C. La dirección del viento predominante es hacia el sur, con una velocidad mínima 1 m/s y una máxima de 10 m/s (Instituto Meteorológico Nacional, 2014).¹

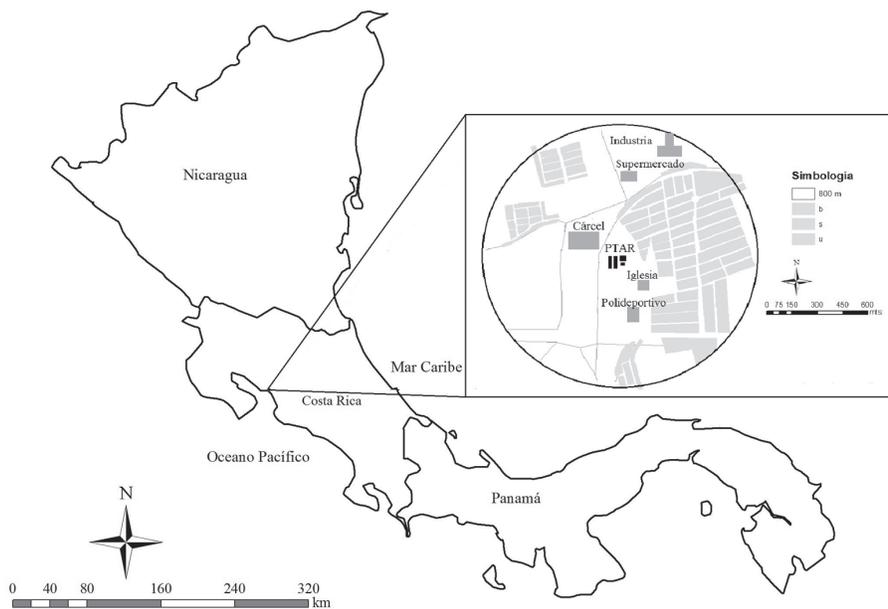


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Coordenadas CRTM05)

Esta comunidad cuenta con una PTAR con capacidad para 85 l/s, con un área de 945 m² y recibe las aguas ordinarias de los distritos de El Roble, Barranca, Chacarita y Puntarenas y atiende a 30.074 habitantes, así como las aguas residuales sin tratar provenientes del Hospital Monseñor Sanabria, el Hotel Double Tree Hilton, el Centro Penitenciario y el servicio de impulsión de las aguas de Inolasa, Sardimar y Maxipalí, las cuales han sido tratadas previamente (Lazo, 2012). El agua residual es impulsada hasta la PTAR mediante nueve estaciones de bombeo. La PTAR es operada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Se compone de cámara de entrada, tamiz, dos sedimentadores primario, dos tanques de aireación y dos sedimentadores secundarios, con vertimiento al estero de Chacarita. Se realizan tres purgas de lodo diarias, con tratamiento en una laguna anaerobia de 2106 m², y el lodo se dispone en lecho de secado.

Identificación de área impactada y percepción comunal de las emisiones de la PTAR: se realizaron inspecciones a diferentes radios de distancia de la PTAR para identificar el alcance de la pluma contaminante. El radio máximo identificado fue de 800 m, que se trazó en un plano de Google Earth, contando 59 sectores influenciados. Para determinar la percepción de la población, se realizó una encuesta el día 9 de junio de 2014 con un tamaño de muestra de 256 viviendas, considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% basado

en una encuesta preliminar. Las encuestas en cada manzana se hicieron mediante muestreo sistemático. El número de casas/manzana se ponderó asociado con el número de casas totales de cada manzana. Para el análisis se asignó una codificación con letras a cada manzana. La encuesta diseñada se validó previamente para verificar la coherencia y oportunidad de las preguntas formuladas. La encuesta se realizó a personas de ambos sexos mayores de edad. El Cuadro 5 presenta las preguntas y opciones de respuestas incluidas. Si las personas respondían negativamente a la primera pregunta, no se procedía con las siguientes.

Cuadro 5. Preguntas y opciones de respuesta de encuesta para la identificación de la percepción de los olores generados por la PTAR de El Roble, Puntarenas

Pregunta		Opciones de respuesta
1	¿Siente usted los olores provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?	Sí/No/No sé
2	Los olores provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales son	Muy fuertes/fuertes/débiles
3	A qué olor se le asemejan: (respuesta múltiple)	Huevo podrido/Vegetales podridos/ Pescado podrido/Fecal/Picante/Irritante/ Ajo/Ninguno de los anteriores
4	¿A qué hora ha percibido más los olores?	0:00-3:00 am/3:00-6:00 am/6:00-9:00 am/9:00-12:00 pm/12:00-3:00 pm/3:00-6:00 pm/6:00-9:00 pm/9:00-11:00 pm
5	¿Cuándo son más fuertes los olores?	Invierno/Verano

La tabulación de los datos se adelantó en el programa SPSS Statistics, el análisis de los resultados en el programa Minitab y los mapas de los resultados en el programa ArcGis, en los cuales, para las diferentes variables de respuesta, se identificó la moda de las respuestas y esta fue asignada a cada una de las manzanas. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el fin de determinar las correlaciones entre las variables encuestadas, así como un análisis de estabilidad atmosférica utilizando las clases de estabilidad de Pasquill-Gifford con los datos de velocidad del viento, radiación solar y nubosidad brindados por el Instituto Meteorológico Nacional.

Resultados y discusión

De las 256 encuestas, el 67% corresponde a mujeres y 31% a hombres. Con respecto a la edad, un 23% se encuentra en los rangos de 18 a 28 años y 29 a 39 años, el 21% entre 40 a 49 años, el 13% entre 50 a 59 y 60 a 69 años y el 8% entre 70 a 79 años. En relación con la percepción del olor, el 76% efectivamente lo percibe, por lo cual las preguntas restantes se hacen solo a 195 viviendas. La Figura 2 presenta espacialmente la percepción del olor y evidencia el radio de influencia a los 600 m, donde se ha esquematizado la PTAR con rectángulos que representan las unidades de tratamiento de la planta.

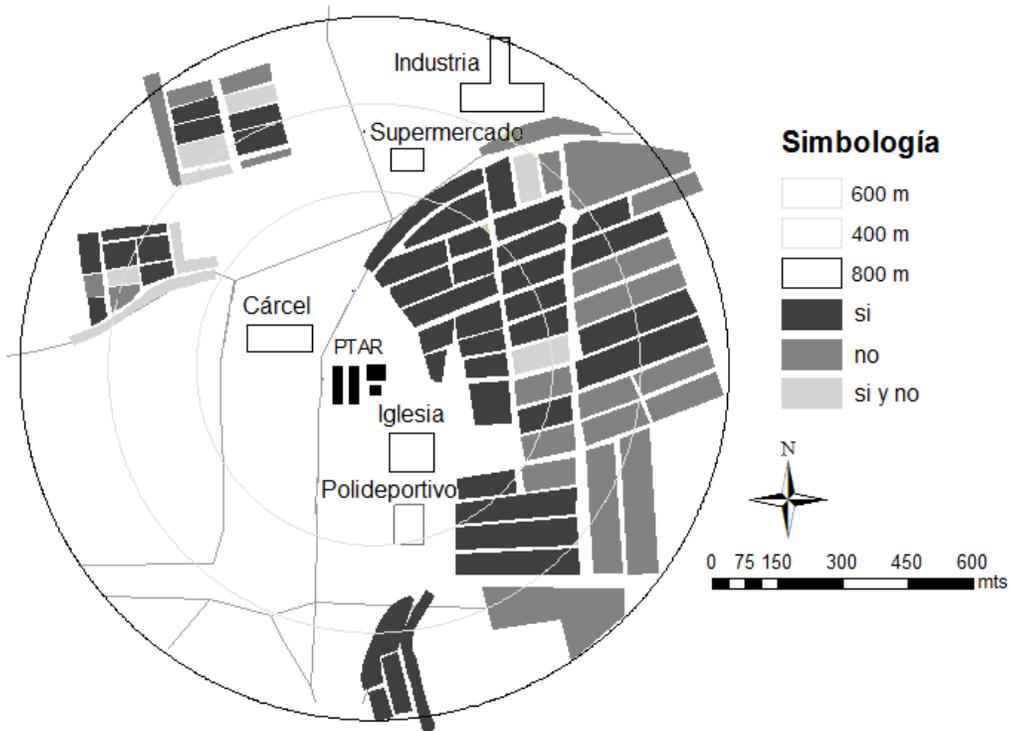


Figura 2. Percepción del olor en los diversos sectores

El nivel de intensidad con el que se percibe el olor es fuerte para un 57%, el 26% percibe olores muy fuertes y para el 17% estos son débiles, como se muestra en la Figura 3a, b.

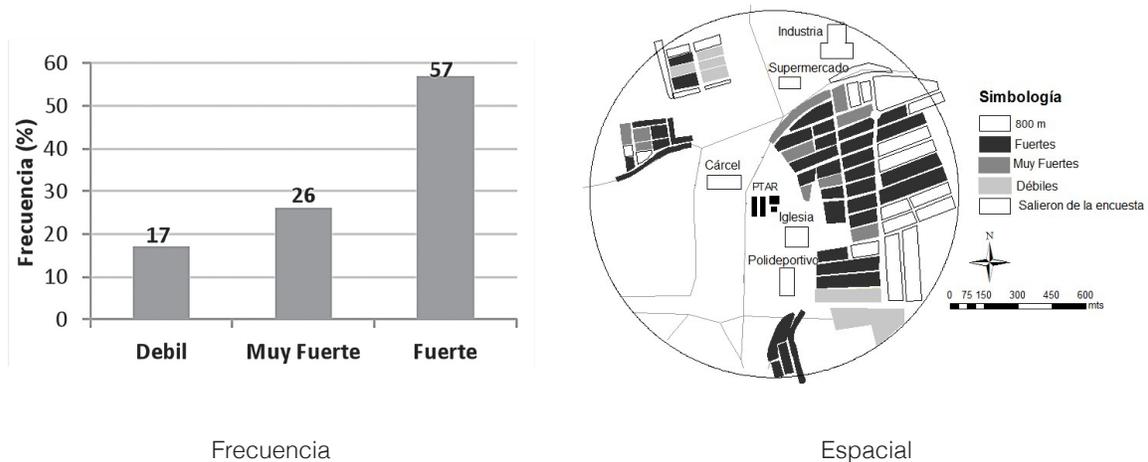


Figura 3. Percepción del nivel de intensidad del olor

Con respecto a la percepción del tipo de olor, el olor fecal es el predominante, con un 83% (Fig. 4a, b). Esto induce a una presencia de compuestos nitrogenados como Indol y Escatol.

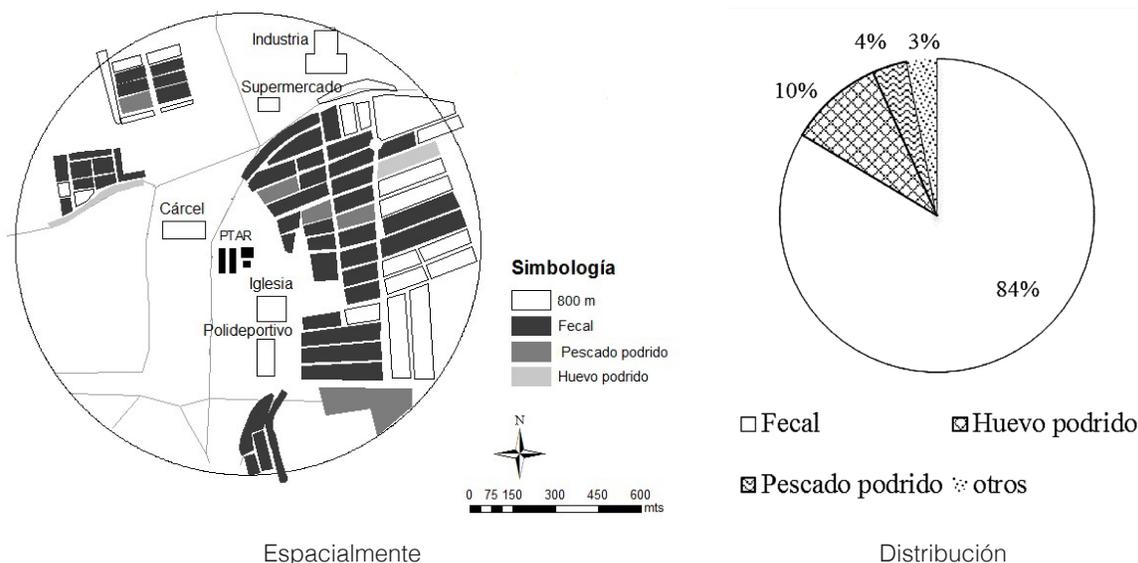


Figura 4. Percepción del tipo de olor

Las horas en las que más se perciben los olores son las franjas horarias de 06:00 a 09:00 am y de 15:00 a 18:00 pm, como se muestra en la Figura 5. Esto está influido por el comportamiento de la atmósfera, ya que a dichas horas éste es ligera y moderadamente inestable (Fig. 5). Esto indica que en horas de la mañana el contaminante empieza a ascender, ya que se da la ruptura de la capa estable por el calentamiento solar; y en las horas de la tarde la capa estable descende por el disminución del flujo de calor y, por lo tanto, el contaminante tiende a estar más cerca de la superficie; es por eso que en ambos lapsos de tiempo los olores se tienden a sentir más (Herrera Murillo, 2014). De las 18:00 a las 21:00 se cuenta con una estable (E), que se caracteriza por no presentar movimientos verticales sino horizontales y esto hace que los olores se trasladen a mayores distancias y sean percibidos por la población (Barclay et al., 2014).

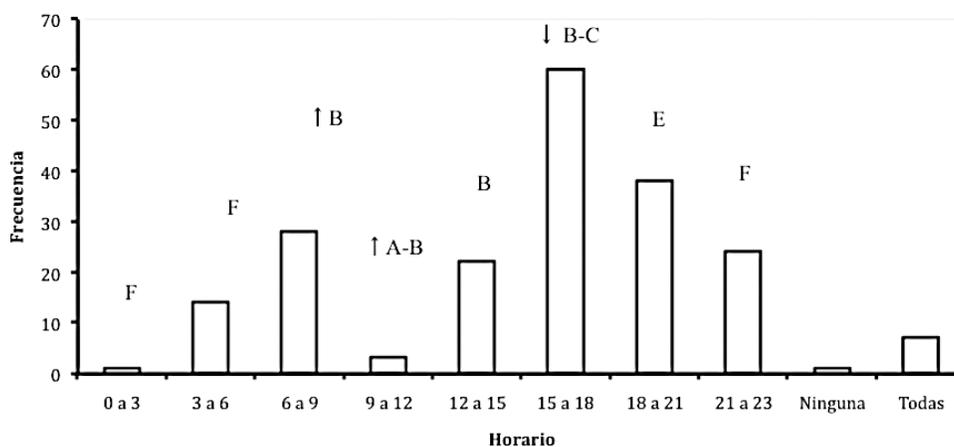


Figura 5. Franjas horarias en las que el olor se percibe con mayor intensidad.

Cuadro 6. Estabilidades atmosféricas en la zona de estudio para el 9 de junio de 2014

Estabilidad de día				Estabilidad de noche			
Hora	Velocidad del viento m/s	Radiación solar incidente ca/cm2h	Clase	Hora	Velocidad del viento m/s	Radiación solar incidente ca/cm2h	Clase
6-9	2	29	B	0-3	2	<30	F
9-12	3	67	A-B	3-6	2		F
12-3	4	69	B	18-21	4		E
3-6	4	31	B-C	21-23	3		F

La época del año en la cual la población percibe más los olores es en el invierno (62%), mientras que en verano el 30% mientras que un 8% lo perciben en ambas estaciones del año.

Mediante el análisis de la correlación (Cuadro 7 y Fig. 6), se determina que hay correlaciones entre las variables sexo–siente los olores. Según un estudio realizado por Valencia, Espinosa, Parra & Peña (2011), las mujeres tienden a percibir más la contaminación atmosférica ya que se caracterizan por mostrar una mayor preocupación por la salud y la seguridad humanas en comparación con los hombres. Con respecto a la edad y el tiempo de vivir, los adultos mayores tienden a identificar más los problemas de contaminación en comparación con los jóvenes, ya que los primeros se preocupan más por el bienestar de la familia (Valencia et al., 2011), pero este primer grupo tiende a ser más sensible a la percepción de los olores (Larsson, Finkel & Pedersen, 2000). El lapso de tiempo que han vivido en el lugar influye, ya que puede ocurrir el fenómeno de adaptación al ambiente y, por ende, la sensibilización o desensibilización (Valencia et al., 2011). También existen correlaciones entre el grado de olor y el horario, la composición–siente los olores y época–composición. Este análisis de correlaciones permite determinar las variables que brindan información y los mecanismos de intervención.

Cuadro 7. Análisis de correlación

	Sexo	Edad	Tiempo	Siente	Grado	Composición	Horario	Época
Sexo	1	0,03	-0,07676	0,27917	0,10309	0,04743	-0,12274	0,14395
Edad	0,03	1	0,39627	-0,15209	0,06108	-0,14174	0,08429	0,11938
Tiempo	-0,076	0,39627	1	-0,0915	-0,32662	0,14923	0,33129	-0,03657
Siente	0,27917	-0,15209	-0,0915	1	0,12729	0,19625	-0,02601	0,07868
Grado	0,10309	0,06108	-0,32662	0,12729	1	-0,03915	0,33296	0,08298
Composición	0,04743	-0,14174	-0,14923	0,19625	-0,03915	1	-0,10785	-0,14704
Horario	-0,12274	0,08429	0,33129	-0,02601	-0,33296	-0,10785	1	-0,12702
Época	0,14395	0,11938	-0,03657	0,07868	0,08298	-0,14704	-0,12702	1

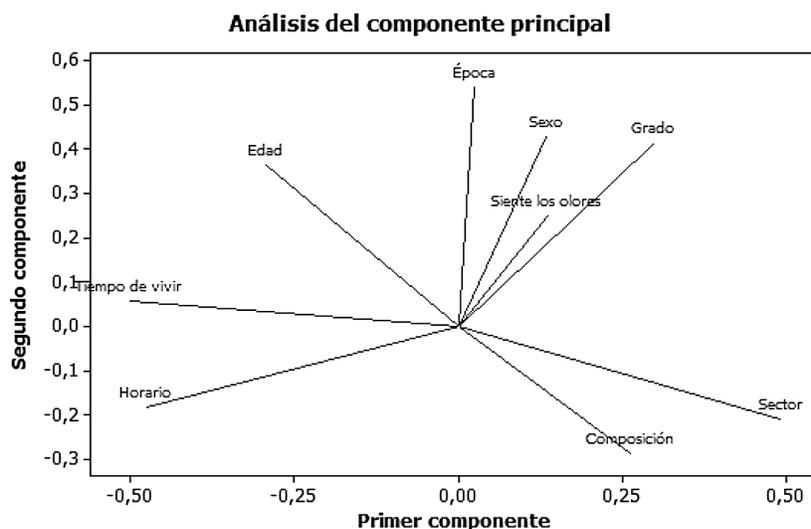


Figura 6. Correlación de variables

Conclusiones

La metodología de encuestas es una técnica económica que permite identificar el radio de influencia de una pluma contaminante asociada con compuestos odorantes.

En un radio de influencia de 800 m de la PTAR de El Roble Puntarenas, el 76% de los encuestados indica que sí sienten los olores emitidos por la planta, cuyo radio de influencia más intenso es de 600 m. El 57% indica que los olores son fuertes. El 83% revela que el olor al que se les asemeja es fecal, lo que indica presencia de compuestos nitrogenados como Indol y Escatol.

Se identifican tres franjas horarias en las que se sienten más los olores a saber: 6:00 a 9:00, 15:00 a 18:00 y 18:00 a 21:00, en el cual el comportamiento de la atmósfera asociado a factores climáticos se encuentra entre ligera y modernamente inestable.

El invierno es la época del año en la que más se perciben los olores.

Existen correlaciones entre el sexo-siente los olores, ya que las mujeres tienden a percibirlos más en comparación con los hombres. Por otra parte, está el factor de la edad -tiempo de vivir en el sector-, ya que los adultos mayores identifican más los problemas de contaminación pero son más sensibles a la percepción en comparación con los jóvenes.

Agradecimientos

A los estudiantes de licenciatura en Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica que apoyaron en la logística y el levantamiento de la Información. Al Ing. Andrés Lazo Páez, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

Bibliografía

- Arriagada Monreal, A. (2008). *Tecnologías para el tratamiento de olores en aguas servidas*. Universidad de Chile.
- Barclay, J., Diaz, C. & Cartelle, D. (2014). *Revision of Regulatory Dispersion Models, an Important Key in Environmental Odour Management*. En C. Diaz (Ed.), (Vol. 3). Santiago de Chile. Obtenido de http://www.olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=359&lang=es

- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R. & Guillot, J.-M. (2013). Measuring odours in the environment vs. dispersion modeling: A review. *Atmospheric Environment*, 79, 731-743. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.07.029
- Carrera-Chapela, F., Donoso-Bravo, A., Souto, J. a. & Ruiz-Filippi, G. (2014). Modeling the Odor Generation in WWTP: An Integrated Approach Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(6), 1932. doi:10.1007/s11270-014-1932-y
- Dincer, F. & Muezzinoglu, A. (2007). Odor Determination at Wastewater Collection Systems: Olfactometry versus H₂S Analyses. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 35(6), 565-570. doi:10.1002/clen.200700057
- Dirección General de Salud Pública (2007). *Hoja de seguridad del amoniaco*. Murcia, España.
- Herrera Murillo, J. (2014). *Fundamentos de meteorología aplicados a la contaminación del aire*. Heredia, C.R.: Universidad Nacional. Obtenido de http://www.edeca.una.ac.cr/files/presentacion_meteorologia_y_calidad_del_aire.pdf
- Instituto Meteorológico Nacional (abril, 2014). *Solicitud de datos meteorológicos. Estación 78027*. San José. doi:10.1007/s10973-006-3070-2
- Larsson, M., Finkel, D. & Pedersen, N.L. (2000). Odor identification: influences of age, gender, cognition, and personality. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(5), P304-P310. doi:10.1093/geronb/55.5.P304
- Lazo, A. (2012). *Evaluación Operativa y Oportunidades de Mejora Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Roble de Puntarenas*. San José.
- Lebrero, R., Bouchy, L., Stuetz, R. & Muñoz, R. (2011). Odor Assessment and Management in Wastewater Treatment Plants: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(10), 915-950. doi:10.1080/10643380903300000
- Lehtinen, J. & Veijanen, A. (2010). Odour Monitoring by Combined TD-GC-MS-Sniff Technique and Dynamic Olfactometry at the Wastewater Treatment Plant of Low H₂S Concentration. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218(1-4), 185-196. doi:10.1007/s11270-010-0634-3
- Madriz Medeiros, D. (2011). *Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Marysville, E., Castro, J.M. De & Porter, R. (2014). *Everett/Marysville Regional Odor Monitoring Project*. Obtenido de http://www.olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=368:everett-marysville-regional-odor-monitoring-project&catid=80&Itemid=422&lang=en
- Metcalf & Eddy, I. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. (Tercera edición, pp. 67-69). México: McGraw-Hill.
- Morgan Sagastume, J.M., Revah Moiseev, S. & Noyola Robles, A. (2000). *Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/mexicona/R-0032.pdf>
- Muñoz, R., Sivret, E.C., Parcsi, G., Lebrero, R., Wang, X., Suffet, I.H.M. & Stuetz, R.M. (2010). Monitoring techniques for odour abatement assessment. *Water Research*, 44(18), 5129-49. doi:10.1016/j.watres.2010.06.013
- Stellacci, P., Liberti, L., Notarnicola, M. & Haas, C.N. (2010). Hygienic sustainability of site location of wastewater treatment plants. *Desalination*, 253(1-3), 51-56. doi:10.1016/j.desal.2009.11.034
- Stuetz, R. & Frechen, F.-B. (2001). *Odours in Wastewater Treatment* (p. 120). London: IWA.
- Valencia, J., Espinosa, A., Parra, A. & Peña, M. (2011). Percepción del riesgo por emisiones atmosféricas provenientes de la disposición final de residuos sólidos. *Rev. Salud*, 13(6), 930-941. Obtenido de <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v13n6/v13n6a06.pdf>
- Walsk, T. (2014). *Predicción de la formación de sulfuro de hidrógeno en sistemas de alcantarillado sanitario*. Obtenido de http://pages.info.bentley.com/webinar-checkin/?CEID=CO_ESEM_OCT23_LATAM&email=lucesaenz001@gmail.com

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.

1. Los artículos deberán ser originales, inéditos y no pueden participar simultáneamente en otros procesos de publicación.
2. La extensión de los trabajos debe oscilar entre 10 y 20 páginas de 21,59 x 27.94 cm (8,5 x 11 pulgadas). Se debe presentar en un documento de Microsoft Word, con interlínea de espacio y medio, en una columna, en letra Times 12 pts.
3. Los títulos de los artículos deben ser sencillos, claros, cortos y estar en español e inglés.
4. Es necesario indicar claramente el nombre y los dos apellidos del autor, nacionalidad, profesión, teléfonos, correo electrónico, dirección exacta, lugar de trabajo y país de origen de dicha entidad.
5. Las palabras clave deben presentarse en español y en inglés. Además, el resumen debe estar compuesto por 250 palabras y aparecer en ambos idiomas.
6. Las imágenes se deben enviar en un archivo aparte del documento principal. En caso de ser escaneadas, la resolución mínima es de 300 ppi. Los formatos permitidos son: .jpg, .tiff, .eps, .psd y .ai.
7. Las fórmulas y ecuaciones matemáticas deben realizarse con el editor de ecuaciones de Word.
8. En lo pertinente, se usará el Sistema Internacional de Unidades.
9. La bibliografía debe aparecer al final del documento, ordenada según su aparición en el documento y utilizar el formato IEEE.
10. Los documentos deberán enviarse a las direcciones electrónicas editorial@itcr.ac.cr o alvarez@itcr.ac.cr
11. La Comisión editorial no dará trámite de edición al artículo que no cumpla con estos requisitos.

Nota importante

Los originales serán sometidos a un proceso editorial que se desarrollará en varias fases. En primer lugar, serán objeto de una evaluación preliminar por parte de los miembros del Comité Editorial, quienes determinarán la pertinencia de su publicación. Una vez establecido que cumple con los requisitos temáticos y formales indicados en estas instrucciones, será enviado a dos pares académicos externos para decidir en forma anónima (doble ciego) si debe publicarse, si necesita cambios o si se rechaza. En caso de que ambos llegaran a discrepar, el artículo será enviado a un tercer evaluador, para tomar la decisión. Los resultados del dictamen académico serán inapelables en todos los casos. En caso de que el artículo sea aprobado para su publicación, el autor autoriza a la Editorial Tecnológica de Costa Rica para que lo incluya en la revista y pueda editarlo, reproducirlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero mediante medios impresos y electrónicos bajo la licencia *Creative Commons*.

Instructions to publish in **TECNOLOGÍA** *en marcha*

The journal *Tecnología en Marcha* is published by the Editorial Tecnológica de Costa Rica every three months. It focuses mainly in disseminating the results of research of engineering areas. The journal's contents are intended for researchers, experts, teachers and university students around the world.

1. All articles must be originals, unpublished, and cannot be simultaneously used in other processes.
2. Papers may be 10-20 pages long (8.5 x 11 in, or 21.59 x 27.94 cm). All documents must be submitted in MS Word, 1.5 line spacing, using Times 12 pts. font and in one column.
3. Article titles must be simple, clear, short, and be included in both Spanish and English.
4. The name and (two) last names of the author should be clearly indicated, along with their profession, telephone numbers, email, physical address, place of work (organization, department, school), and where the organization is based.
5. The key words must be included in both Spanish and English. Furthermore, the abstract must be 250 words long, and should also be submitted in both languages.
6. The images must be delivered in a separate document. If scanned, the minimum resolution is 300 ppi. The formats allowed are .jpg, .tiff, .eps, .psd, and .ai.
7. Mathematical equations and formulas must be done with MS Office's Equation Editor.
8. Where necessary, use the International System of Units.
9. Bibliography will be included at the end of the document, arranged order based on IEEE format.
10. Papers should be sent to the following emails: editorial@itcr.ac.cr, or alamirez@itcr.ac.cr
11. The Editorial Committee will only consider for publication the articles meeting the above requirements.

Important note

All originals will be subject to an editorial process consisting of several phases. First, a preliminary assessment will be done by members of the Editorial Committee, the Director, and the editors, who will jointly determine whether the article would make a relevant publication. After determining that an article meets the thematic and formal requirements established in these Instructions, it will be sent to two outside academic peers who will decide anonymously (double-blind) whether it should be published, if it needs any changes, or whether it should be turned down. In case of disagreement between these peers, the article will be sent to a third evaluator in order to reach a decision. In no case may the results of this decision be appealed. If the article is accepted for publication, the author authorizes the Editorial Tecnológica de Costa Rica to edit, reproduce, distribute, exhibit and communicate at the country and abroad through print media and electronic equipment under the *Creative Commons* license.

Cronograma 2016

	Vol. 29-1	Vol. 29-2	Vol. 29-3	Vol. 29-4	Vol. 30-1	Vol. 30-2	Vol. 30-3
Recepción de artículos	Mayo - julio 2015	Agosto - octubre 2015	Noviembre 2015 - enero 2016	Febrero - abril 2016	Mayo - julio 2016	Agosto - octubre 2016	Noviembre 2016 - enero 2017
Evaluación de expertos y aprobación	Agosto - setiembre 2015	Noviembre - diciembre 2015	Febrero - marzo 2016	Mayo - Junio 2016	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017
Revisión de estilo y corrección	Octubre 2015	Febrero 2016	Abril 2016	Julio 2016	Octubre 2016	Enero 2017	Abril 2017
Diagramación y correcciones finales	Enero 2016	Marzo 2016	Mayo - junio 2016	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017	Mayo - junio 2017
Publicación del número	Febrero 2016	Mayo 2016	Julio 2016	Octubre 2016	Febrero 2017	Abril 2017	Julio 2017