

Revista trimestral

# TECNOLOGÍA

*en marcha*

ISSN 0379-3982 Vol. 27 N°2 abril – junio 2014

## Contenido

Evaluación de monitores electroquímicos para estudios de corrosión atmosférica del acero carbono

Evaluation of electrochemical monitors for atmospheric corrosion studies of carbon steel

*Luis Garita-Arce* ..... 3

Evaluation of various steel types for the evolution of hydrogen in KOH

Evaluación de diferentes aceros para la evolución de hidrógeno en KOH

*Falk Michel Julke, Javier E. Rodríguez-Yáñez, Maricruz Saborío-González* ..... 14

Gestión de materiales y residuos radiactivos en la Universidad de Tübingen, Alemania

Tübingen University Radioactive Material and Waste Management

*Jose Carlos Mora-Barrantes, Roy Zamora-Sequeira, David Benavides-Ramírez,*

*Thomas Haug* ..... 22

Determinación de material y condiciones de trabajo del Torno CNC en la operación de cilindrado

Determination of materials and cutting conditions in a CNC lathe turning operation

*Juan Bautista Hernández-Granados, Marcela Meneses-Guzmán,*

*Federico Picado-Alvarado* ..... 32

Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada

Degradation and decoloration of contaminated water with textile dyes using advanced oxidation processes

*Laura Castro-Peña, J. Esteban Durán-Herrera* ..... 40

Prueba comparativa de uniformidad de contenido en tabletas de teofilina (150 mg/tab) de dos casas farmacéuticas en Costa Rica Comparative test of content uniformity of theophylline (150 mg/tab) tablets from two pharmaceutical houses in Costa Rica <i>Esteban Pérez-López, Kevin Morales-Alfaro, Alfonso Rojas-Hernández, Anderson Vargas-Vargas</i> .....	51
Diagnóstico y dinámica poblacional de nematodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivos de piña en Costa Rica Diagnostic of plant parasitic nematodes and its population dynamics in two pineapple cultivation systems in Costa Rica. <i>Tomas de Jesús Guzmán-Hernández, Joaquín Durán-Mora, Wayner Montero-Carmona, Henry Vargas-Céspedes, Zulay Castro-Jiménez, Dinia Estela Carvajal-Vargas, Dany León-Arias</i> .....	58
Evaluación del antagonismo de <i>Trichoderma</i> sp. y <i>Bacillus subtilis</i> contra tres patógenos del ajo Evaluation of antagonism of <i>Trichoderma</i> sp. and <i>Bacillus subtilis</i> against three garlic pathogens <i>Karina Astorga-Quirós, Karla Meneses-Montero, Claudia Zúñiga-Vega, Jaime Brenes-Madriz, William Rivera-Méndez</i> .....	82
Caracterización histórica y socioeconómica de una franja territorial yuquera en el distrito de La Fortuna, San Carlos y Peñas Blancas, San Ramón, región Huetar Norte de Costa Rica Historical and socio-economic characterization of a territorial strip of cassava growing in the district of La Fortuna, San Carlos and Peñas Blancas, San Ramon, North Huétar region of Costa Rica <i>Francisco Rodríguez-Barrientos, Óscar Córdoba-Artavia</i> .....	92
Propuesta de aprendizaje bimodal para mejorar los primeros cursos de matemática en la universidad. La situación de la Universidad Nacional Proposal of blended learning to improve the first mathematics courses at the University. The situation of the Universidad Nacional <i>Yuri Morales-López</i> .....	107
Validación del constructo, contenido y confiabilidad de indicadores de proceso para la evaluación de la dimensión curricular en la educación superior: el caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica Validation of construct, content and reliability of process-type indicators used for the assessment of curricular process dimension at higher education: the case of Costa Rica Institute of Technology <i>Rosa Inés Lira-Valdivia</i> .....	117

# Evaluación de monitores electroquímicos para estudios de corrosión atmosférica del acero carbono

Evaluation of electrochemical monitors for  
atmospheric corrosion studies of carbon steel

*Luis Garita-Arce<sup>1</sup>*

*Fecha de recepción: 23 de julio del 2013  
Fecha de aprobación: 3 de noviembre del 2013*

Garita-Arce, L. Evaluación de monitores electroquímicos para estudios de corrosión atmosférica del acero carbono. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 3-13

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Corrosión. UEN de Proyectos y Servicios Asociados. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: lgaritaasr@ice.go.cr.

## Palabras clave

Corrosión atmosférica; monitores electroquímicos; ruido electroquímico; resistencia de polarización lineal.

## Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar diferentes tipos de monitores electroquímicos para realizar estudios de corrosión atmosférica. Para ello se realizaron corridas en el estado cero de las probetas y condiciones controladas de humedad relativa y temperatura; también se efectuaron corridas a través del tiempo y con probetas activadas hidrofílicamente. Las técnicas electroquímicas utilizadas son la resistencia de polarización lineal (RPL) y el ruido electroquímico (RE), las cuales tienen como variables respuesta la resistencia de polarización ( $R_p$ ) y la resistencia al ruido ( $R_n$ ) respectivamente.

Entre las principales conclusiones tenemos que la probeta de tres electrodos idénticos y la de tipo peine de tres electrodos presentan mejores resultados con respecto a las variaciones de humedad relativa (HR); sin embargo, se recomienda realizar nuevos electrodos de forma de peine, con distancias menores de separación entre ellos, para así realizar estudios comparándola con la de tres electrodos idénticos.

## Key words

Atmospheric corrosion; electrochemical monitors; electrochemical noise (ECN); linear polarization resistance (LPR).

## Abstract

In the current study, it is the objective to evaluate different types of electrochemical monitors for studies of atmospheric corrosion.

In order to achieve such objective, runs were carried out in the zero state of the specimens, under controlled relative humidity and temperature. Furthermore, runs were carried out over time and with hydrophilic activated samples. The used electrochemical techniques were: the linear polarization resistance (LPR) and the electrochemical noise (ECN,) which have as response variables the polarization resistance (RP) and the noise resistance (RN) respectively. Among the main conclusions, it is that the specimen of three identical electrodes and the comb type one of three electrodes show better results in regards to variations of relative humidity (RH.)

However, it is recommended new comb shaped electrodes where the distance between them is less in order to study them by comparing such electrodes with the three identical ones.

---

## Introducción

Existen diferentes métodos para determinar la velocidad de corrosión en los materiales. En lo que respecta a la corrosión atmosférica, el más utilizado es el gravimétrico. Sin embargo, tomando en consideración que todos los factores electroquímicos son significativos en los procesos de corrosión metálica y que operan en la atmósfera, es posible llevar a cabo análisis cinéticos mecanicistas utilizando técnicas electroquímicas. Entre estos métodos están: curvas de polarización, espectroscopía de impedancia, la Resistencia de Polarización Lineal (RPL) y el Ruido electroquímico (RE) (CYTED, 1998)

La técnica del ruido electroquímico se basa en el análisis de registros temporales de potencial y corriente adquiridos sobre un sistema que evo-

luciona libremente. Esta técnica se encuentra aún en desarrollo y está siendo utilizada para obtener información sobre la cinética y los mecanismos de los procesos de corrosión. En la actualidad, no existe un consenso sobre los métodos de análisis más adecuados para la interpretación de los datos experimentales (Botana, 2002).

La resistencia de polarización lineal se basa en que las curvas de polarización son prácticamente rectas en un pequeño entorno del potencial de corrosión y su pendiente está relacionada con la velocidad de corrosión. En la práctica se aplica una pequeña polarización y se mide el cambio de corriente para de esa forma con el cociente de esas dimensiones se obtiene la resistencia de polarización ( $R_p$ ) (González, 1989).

## Monitores Electroquímicos de Corrosión Atmosférica (MECA)

Para aplicar las técnicas mencionadas se deben construir monitores electroquímicos, los cuales son probetas con pequeñas láminas construidas del metal en estudio que funcionan como electrodos. Las probetas se forman con ayuda de una resina resistente al ataque químico y a cualquier medio; en ellas las láminas de metal quedan lo suficientemente cerca como para que una pequeña capa de humedad (humedad relativa baja) del medio sirva como electrolítico.

La humedad relativa juega un papel importante en la determinación de la agresividad atmosférica ya que, junto a la temperatura, se determina el tiempo de humectación, que es un factor importante en la categorización de la agresividad de la atmósfera, según la Norma ISO 9223 (*Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres-Classification*).

Dado lo anterior, existen diferentes tipos de MECA de acuerdo a su forma geométrica y la cantidad de electrodos para que puedan funcionar con capas de electrolito delgado.

### Probeta de 3 electrodos idénticos

Esta probeta consiste en un arreglo de 3 electrodos idénticos (ver figura 1) colocados lo más cerca posible entre ellos dentro de la resina, para así lograr que la humedad del aire funcione como electrolito a pesar de ser una capa delgada.

### Probeta tipo peineta de dos electrodos

La probeta con forma de peineta consiste en un arreglo de los electrodos con la forma geométrica de un peine (ver figura 2) y el objetivo principal de esta configuración es aumentar el área entre los electrodos. Utilizando el arreglo tipo peineta se puede aumentar el área de contacto entre los electrodos y el electrolito manteniéndolos lo más cerca posible.

El esquema de medición de este sistema se basa en alternar la medida de corriente y de potencial sobre el par de electrodos de trabajo (Botana, 2002).

### Probeta tipo peineta de tres electrodos

De igual forma que los electrodos convencionales, el arreglo peineta se puede trabajar utilizando 3

electrodos (ver figura 3). Esta probeta consta de una lámina central aislada que no recibe polarización durante las medidas, es decir, actúa como electrodo de referencia, mientras los electrodos dentados funcionan como electrodo de trabajo y contraelectrodo (González, Escudero, Lopez, Simancas, & Morcillo, 2004).

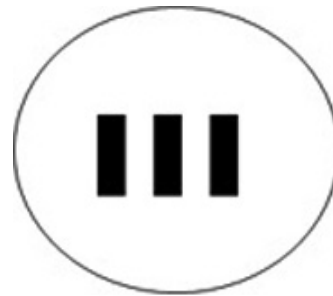


Figura 1. Monitor electroquímico de tres electrodos idénticos. Fuente: Autor.



Figura 2. Monitor electroquímico de peineta de dos electrodos. Fuente: Autor.



Figura 3. Monitor electroquímico de peineta de tres electrodos. Fuente: El autor.

### Carácter hidrofílico de la superficie

Se debe tener en cuenta que independientemente de que la superficie metálica aparezca mojada por efecto de la lluvia, o bien se produzca un aumento de la HR y la consiguiente condensación, se dan varios mecanismos que permiten la formación de la película húmeda. Por otra parte, a medida que crece este espesor de película, la velocidad de corrosión aumenta hasta alcanzar un máximo para espesores del orden de los 100 µm (Otero Huerta, 2001).

En algunos casos se realiza una activación iónica a la superficie de la probeta mediante NaOH, con el objetivo que adquiera ese carácter hidrofílico, esto para los casos en donde la humedad relativa se encuentre por debajo de la crítica y la capa de electrolito sea muy delgada (Tres, 2001).

### Metodología

Para preparar las distintas probetas, los electrodos se construyeron a partir de un acero carbono estructural el cual cumple la composición química según norma ASTM A36/A36M-12 *Standard Specification for Carbon Structural Steel* de acuerdo a los resultados del cuadro 1. La determinación de la composición química se realiza de acuerdo con la norma ASTM E415-08 *Standard Test Method for Atomic Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel*. Dichos electrodos son embebidos en una resina dejando una cara de estos expuesta al ambiente. La resina es un material aislante resistente a cualquier ataque químico de

Cuadro 1. Composición química del material utilizado en la construcción de los monitores electroquímicos.

Elementos	Composición (%m/m)
Carbono	0,239
Manganeso	0,749
Fósforo	0,010
Azufre	0,029
Silicio	0,274
Cobre	0,031

la atmósfera. Para el caso de las probetas activadas, estas se dejaron en una disolución de 0,1 M de NaOH a una temperatura de 80° C durante dos horas.

Cabe recalcar que en las pruebas en estado cero y en las que se corrieron a través del tiempo se usaron probetas cuya superficie no fue activada. La pruebas de electroquímica de resistencia de polarización línea y ruido electroquímico se realizan de acuerdo a normas ASTM G 59-97 *Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements* y ASTM G-199-09 *Standard Guide for Electrochemical Noise Measurements* respectivamente.

### Pruebas en estado cero

Las pruebas se realizan en un cuarto con atmósfera controlada, donde la temperatura promedio es de 25° C aproximadamente y la humedad relativa del 60%. A las muestras se les determina la resistencia al ruido electroquímico (Rn). Después de cada corrida, la probeta será lijada, enjuagada con agua destilada y se dejará en reposo durante un período de una hora, para volver a realizar la prueba de ruido nuevamente. Durante todo el experimento se trabaja con las mismas 3 muestras iniciales. Se realiza un total de 10 corridas para cada probeta.

### Pruebas durante el tiempo

Una vez finalizadas las 10 corridas, las muestras son lijadas nuevamente y se dejan en una atmósfera natural con una tasa de depositación de contaminantes de SO<sub>2</sub> de 6,56 mg/m<sup>2</sup>/día y para el Cl<sup>-</sup> de 12,02 mg/m<sup>2</sup>/día y un tiempo de humectación expresado fraccionalmente de 0,56 donde, según estos datos y de acuerdo a la norma ISO 9223-2012, se clasifica como C3, es decir, atmósfera de agresividad corrosiva media. Se realizan nuevas pruebas de ruido electroquímico y de resistencia de polarización lineal, anotando el tiempo entre cada medida. Se deben anotar las mediciones de temperatura y humedad relativa cada vez que se vaya a realizar una corrida, ya que el objetivo principal es observar los cambios en las probetas con el tiempo y los cambios de la atmósfera.

### Probetas con activación de la superficie

En esta parte el objetivo es determinar si la activación de la superficie en la probeta aporta una mejora a los resultados. Por ende, se vuelven a

formar las probetas de 3 electrodos y las de peineta de 3 electrodos. Se confecciona un par de cada probeta y se expone una probeta de 3 electrodos y una de peineta a una disolución de 0,1 M de NaOH a una temperatura de 80° C durante dos horas. Una vez listas, las probetas son expuestas a la atmósfera natural antes mencionada y se observa su comportamiento en el tiempo, por medio de las técnicas de RE y RPL, para observar y comparar el comportamiento de las probetas que fueron activadas con la disolución de NaOH y las que no fueron activadas. Se tendrá una probeta de cada tipo, activadas y no activadas.

## Discusión de resultados

### Pruebas en estado cero

Para la primera parte del experimento, donde las muestras se encuentran todas en estado cero de exposición bajo condiciones ambientales controladas, se realiza el análisis de varianza respectivo entre los valores de Rn obtenidos por cada probeta utilizada (ver en el cuadro 2 los valores de Rn). Al observar el resultado del análisis (ver cuadro 3) se concluye que estadísticamente algún tratamiento se desvía de la media de los otros dos tratamientos,

por lo que se concluye que no hay igualdad entre los Rn obtenidos en el laboratorio.

Dado que el análisis de varianza solamente establece que algún tratamiento puede ser diferente, se recurre a una prueba de Tukey (ver cuadro 4), tras lo cual se puede afirmar que los resultados de las Rn calculadas con la probeta en forma de peineta de 3 electrodos son los valores significativos que se salen del límite de significancia. Por lo tanto, por medio de esta prueba podemos afirmar con un 95% de probabilidad que al utilizar la probeta en forma de peineta de 3 electrodos se producen resultados diferentes a las demás. Por otro lado, también se puede afirmar que no hay diferencia significativa entre los resultados obtenidos con la probeta de 3 electrodos y la de peineta de 2 electrodos.

### Pruebas a través del tiempo

Se realizan las pruebas de RE y RPL a las probetas de tres electrodos, mientras que a la probeta de dos electrodos solamente se le aplica RE.

El tiempo total de exposición de las muestras a la atmósfera es cercano a las 500 horas, durante las cuales estuvieron expuestas a diversos cambios de temperatura, humedad, viento, lluvia, según el estado meteorológico.

Cuadro 2. Valores de la resistencia al ruido (Rn) para las probetas en estado cero bajo atmósfera controlada.

Corrida	T (°C)	HR %	Rn Probeta 3 electrodos (Ohm*cm <sup>2</sup> )	Rn peineta 3 electrodos (Ohm*cm <sup>2</sup> )	Rn Peineta 2 electrodos (Ohm*cm <sup>2</sup> )
1	24,9	66	2,27E+07	5,72E+07	1,65E+06
2	25	66	6,09E+06	7,64E+07	3,88E+06
3	24,7	59	3,65E+06	6,49E+07	4,01E+06
4	23,8	59	8,85E+07	9,22E+07	4,19E+06
5	25,7	51	7,11E+06	5,07E+07	1,67E+06
6	27,2	55	8,36E+06	7,42E+07	2,26E+06
7	26	63	2,83E+07	7,77E+07	2,08E+06
8	25,7	61	3,79E+06	7,00E+07	2,51E+06
9	25,4	61	5,20E+06	1,11E+08	3,16E+06
10	25	69	1,61E+08	6,97E+07	4,18E+06

Cuadro 3: Resultado del ANOVA de las pruebas en estado cero con atmósfera controlada para la Rn.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2,57E+16	2	1,28E+16	12,943	0,0001	3,35
Dentro de los grupos	2,68E+16	27	9,93E+14			
Total	5,25E+16	29				

Cuadro 4. Resultados del análisis de la prueba de Tuckey para la Rn de las pruebas en estado cero.

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Peineta 3 electrodos vs Peineta 2 electrodos	71457878,16	5,07	2,48	< 0,0001	Si
Peineta 3 electrodos vs Probeta 3 electrodos idénticos	40919210,00	2,90	2,48	0,019	Si
Probeta 3 electrodos idénticos vs Peineta 2 electrodos	30538668,16	2,17	2,48	0,095	No

Al comparar los resultados obtenidos de Rn mediante la técnica de RE entre las 3 probetas utilizadas, se observa que durante el tiempo de exposición las probetas mantienen comportamientos diferentes entre sí (ver figura 4). Sin embargo, es notorio que la probeta de 3 electrodos idénticos y la probeta de 3 electrodos tipo peineta presentan comportamiento más cercanos a través de todo el tiempo.

A la hora de realizar el mismo gráfico de comportamiento de los resultados de Rp obtenidos por el método de RPL, se puede afirmar que la probeta de 3 electrodos idénticos y la de 3 electrodos tipo peineta tienen comportamientos similares, es decir, la curva crece y decrece en la mismas unidades de tiempo. Ambas llegan a un valor mínimo en común cercano a las 300 horas, con un valor aproximado

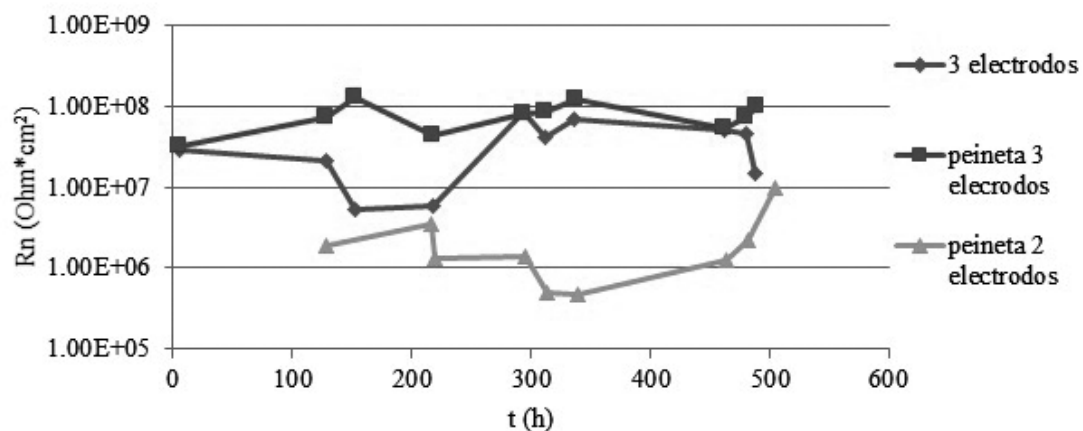


Figura 4. Comportamiento de la Rn para las tres probetas durante el tiempo. Valores obtenidos por el método de ruido electroquímico. Fuente: Autor.



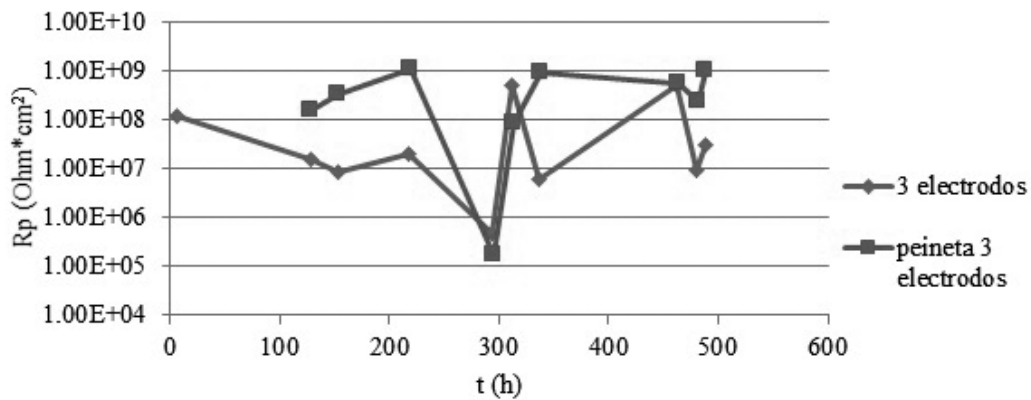


Figura 5. Comportamiento de Rp para las probetas durante el tiempo. Valores obtenidos por el método de LPR. Fuente: Autor:

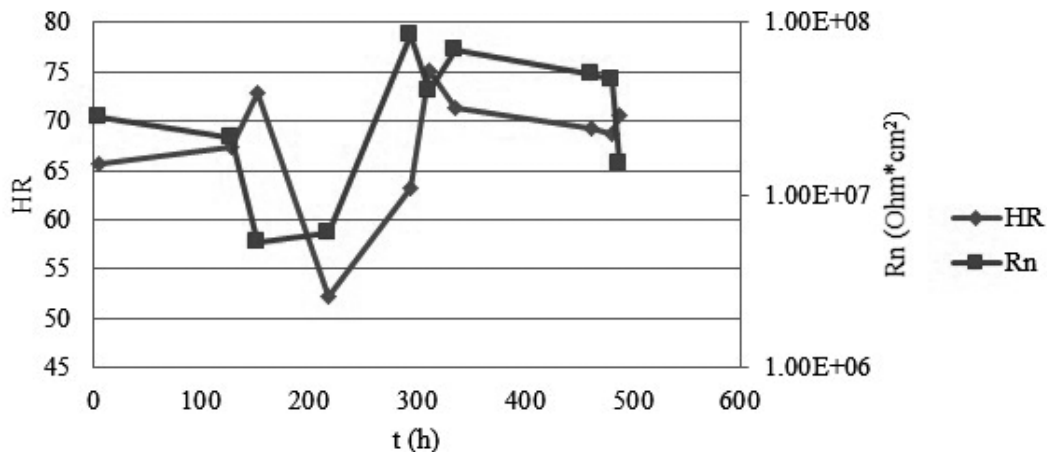


Figura 6. Relación de la resistencia al ruido y la humedad con las pruebas en el tiempo en la probeta de 3 electrodos idénticos. Fuente: Autor:

de  $3,90 \times 10^5 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}^2$ . Se pueden observar los resultados en la figura 5.

Se debe tener en cuenta para los análisis siguientes que a medida que el espesor de la película crece, la velocidad de corrosión aumenta, hasta alcanzar un máximo para espesores del orden de los 100  $\mu\text{m}$  y que los espesores a partir de 1 mm son considerados como condiciones de inmersión. Por otra parte, los espesores de humedad visible se encuentran a partir de las 10  $\mu\text{m}$  (Otero Huerta, 2001).

Teniendo lo anterior en cuenta, se debe indicar que siempre se trabajó con películas invisibles y humedad relativa menor a 100%. Ahora bien, al aumentar el valor de la humedad relativa, aumenta la facilidad de formarse la película de electrolito sobre la

probeta, lo cual hace que disminuyan tanto la Rn como la Rp. Según los resultados, la probeta de 3 electrodos idénticos es la que presenta los resultados más cercanos a lo esperado.

En los resultados de la probeta de 3 electrodos, durante las primeras 200 horas de exposición se observa el comportamiento inversamente proporcional de la humedad con la resistencia. Los resultados se pueden observar en la figura 6.

Como se mencionó anteriormente, los resultados de las demás probetas no se ajustan al comportamiento esperado, en lo que respecta a la humedad relativa. En la probeta de peineta de 3 electrodos se da el comportamiento esperado de la humedad con el Rn en el intervalo de las 300 horas a las 340

horas aproximadamente, mientras que en la probeta de peineta de 2 electrodos se observa ese mismo comportamiento en el intervalo de las 463 horas a las 481 horas de exposición aproximadamente. Se pueden observar los resultados en las figuras 7 y 8.

El comportamiento de las resistencias a la polarización con la humedad relativa en la probeta de 3 electrodos idénticos se da como se tenía esperado en la gran mayoría del tiempo de exposición. En este caso se observa como disminuye la  $R_p$  conforme aumenta la humedad relativa y viceversa después de 100 horas de exposición (figura 9).

Los resultados del comportamiento de la  $R_p$  con la humedad en la probeta de peineta de 3 electrodos (ver figura 10) también muestran el comportamiento

esperado, después de aproximadamente 150 horas de exposición.

En síntesis, se podría decir que el comportamiento esperado de las resistencias con respecto a la humedad relativa se da en las probetas de 3 electrodos, mientras que la de 2 electrodos no presenta similitudes con respecto a las dos anteriores.

### Monitores electroquímicos con activación hidrofílica en su superficie

El tiempo de exposición de los electrodos activados y no activados es de un total de 654 horas aproximadamente. Al inicio de las pruebas de las probetas activadas, solamente la probeta de 3 electrodos idénticos (ver figura 11) presenta el

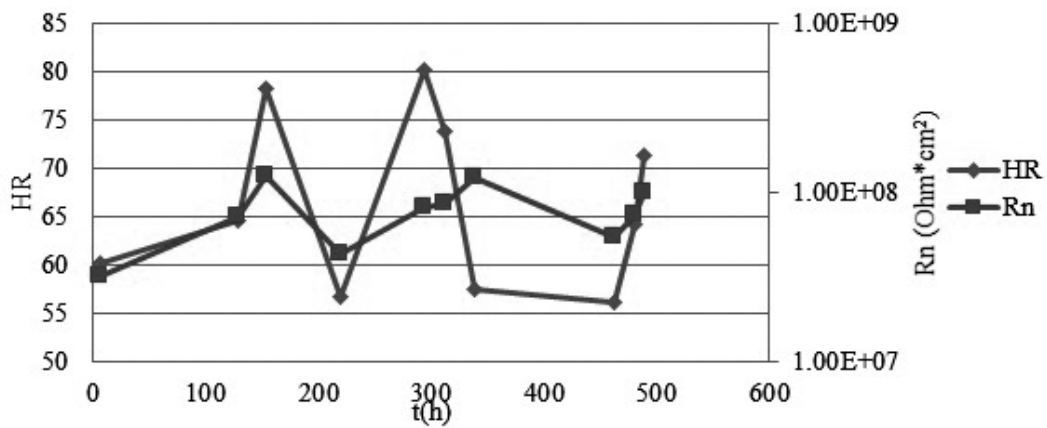


Figura 7. Comportamiento del  $R_n$  con respecto a la humedad durante el tiempo en la probeta de peineta de 3 electrodos. Fuente: Autor.

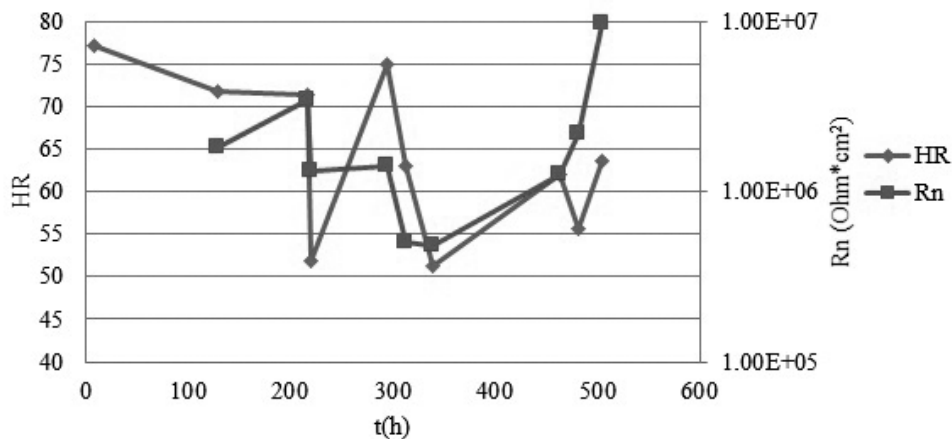


Figura 8. Comportamiento del  $R_n$  con la humedad durante el tiempo en la probeta de peineta de 2 electrodos. Fuente: Autor.

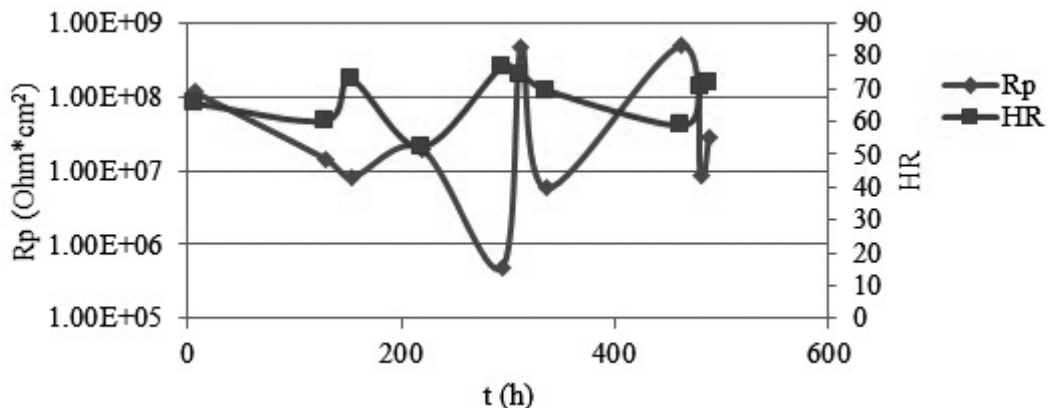


Figura 9. Comportamiento de la Rp con la humedad relativa durante el tiempo en la probeta de 3 electrodos. Fuente: Autor:

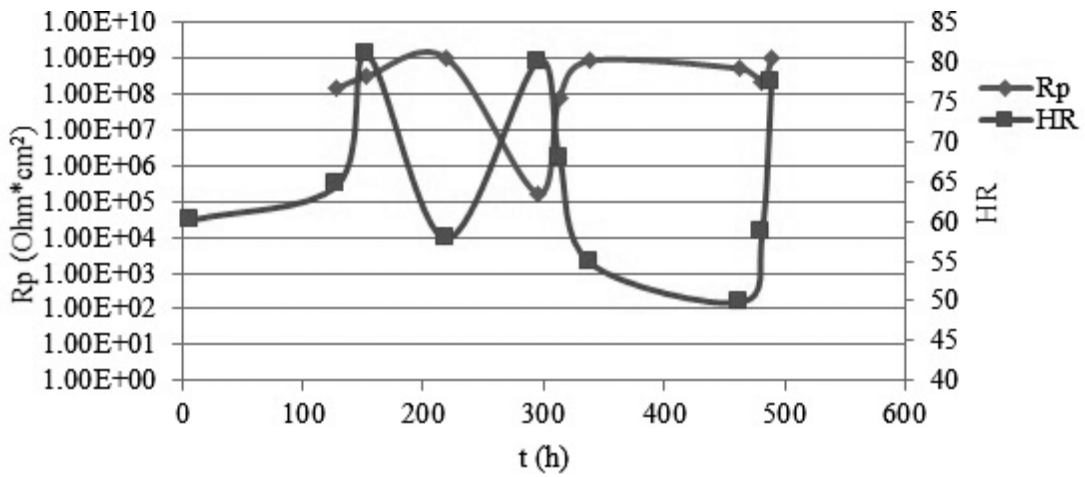


Figura 10. Comportamiento de la Rp con la humedad durante el tiempo en la probeta de peineta de 3 electrodos. Fuente: Autor:

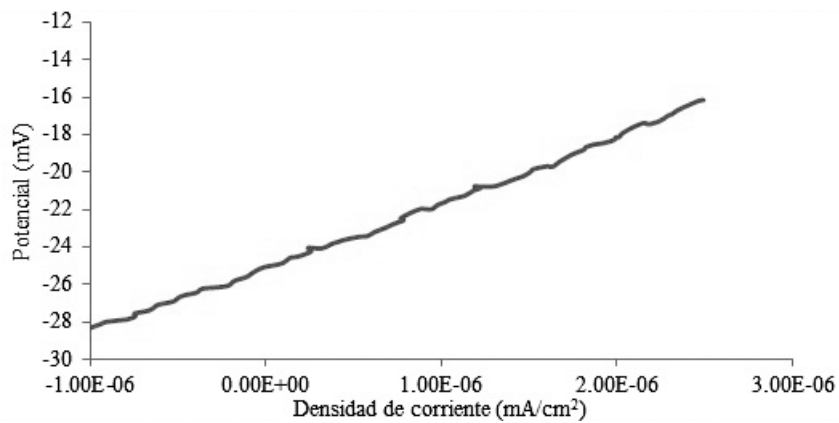


Figura 11. Primer corrida de la curva de resistencia de polarización lineal a T= 26.7 HR= 57,4%. Probeta activada de tres electrodos idénticos. Fuente: Autor:

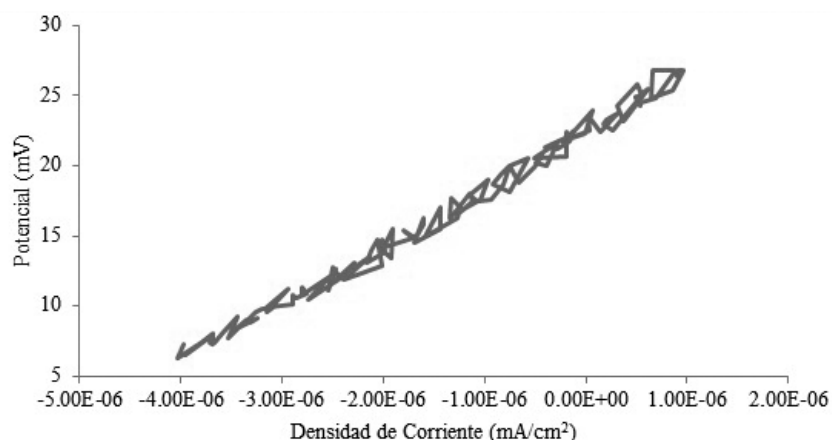


Figura 12. Primer corrida de la curva de resistencia de polarización lineal a T= 26.7 HR= 57,4%. Probeta activada de tres electrodos tipo peineta. Fuente: Autor.

comportamiento idóneo de una curva de LPR, a pesar de tener una humedad relativa del 57,4%; mientras que la de tipo peineta no presentó ese comportamiento (ver figura 12). Un factor importante que puede explicar esta diferencia es la distancia entre los electrodos, ya que en la probeta de 3 electrodos idénticos, la distancia entre ellos es menor a 1 mm, comparada con la distancia entre los electrodos en forma de peineta que es de aproximadamente 3 mm. Aproximadamente entre las 174 y las 200 horas de exposición, la resina se desactiva y pierde su carácter hidrofílico y los resultados son similares a probetas no activadas.

## Conclusiones

En condiciones controladas, en el estado cero de las probetas y mediante la prueba de Tukey, se concluye que la probeta con forma de peineta de 3 electrodos es la que presenta diferencias significativas con respecto a las demás probetas, con un 95% de confianza.

En la prueba a través del tiempo, cuando se exponen los valores de resistencia de RPL y de RE con respecto a la humedad relativa; las probetas muestran un comportamiento típico de acuerdo a las variaciones de humedad, con excepción de la probeta de 2 electrodos.

De acuerdo a las gráficas de RPL, la probeta activada que presenta un mejor comportamiento es la de

3 electrodos idénticos, sin embargo, comienza a perder su carácter hidrofílico al transcurrir las 170 horas aproximadamente. Después de este tiempo, las gráficas de LPR pierden su comportamiento típico.

Se recomienda realizar nuevos electrodos de forma de peineta en los cuales las distancias de separación entre ellos sea menor; para así realizar estudios comparándola con la de tres electrodos idénticos; además de probar otras probetas de diferentes geometrías, como las circulares.

Se recomienda estudiar más a fondo el tiempo en que disminuye el carácter hidrofílico de la superficie de la probeta.

## Bibliografía

- ASTM (1997). *Standard test method for conducting potentiodynamic polarization resistance measurements*. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM (2008). *Standard Test Method for Atomic Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel*. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM. (2009). *Standard guide for electrochemical noise measurement*. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM. (2012). *Standard Specification for Carbon Structural steel*. United States: ASTM.
- Botana, J. (2002). *Ruido electroquímico. Métodos de análisis*. España: SEPTM.
- CYTED. (1998). *Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica*. España: Gráficas Salve S.A.

- González, J., Escudero, E., López, V., Simancas, J. & Morcillo, M. (2004). Durabilidad del aluminio desnudo y anodizado en atmósferas de muy diferentes corrosividades. *Revista de Metalurgia* 259-261.
- González, J. (1989). *Control de la corrosión: estudio y medida por técnicas electroquímicas*. Madrid: GRAFIPREN S.A.
- International Organization for Standardization. (2012). *ISO 9223 Corrosion of Metal and Alloys- Corrosivity of atmospheres- classification*. Suiza: ISO.
- Otero Huerta, E. (2001). *Corrosión y degradación de los materiales*. Madrid: Síntesis SA.
- Sánchez, J., Bethencourt, M., González, L. & Botana, E. (2009). Medida de ruido electroquímico para el estudio de procesos de corrosión de aleaciones metálicas. *Revista de Metalurgia* 143-156.
- Tres, G. (2001). Monitoreo por Ruido Electroquímico de la Corrosión del Acero en una Atmósfera Contaminada. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 171-178.

# Evaluation of various steel types for the evolution of hydrogen in KOH

Evaluación de diferentes aceros para la evolución de hidrógeno en KOH

*Falk Michel Julke<sup>1</sup>*  
*Javier E. Rodríguez-Yáñez<sup>2</sup>*  
*Maricruz Saborío-González<sup>3</sup>*

*Fecha de recepción: 18 de setiembre del 2013*  
*Fecha de aprobación: 13 de diciembre del 2013*

Michel, F; Rodríguez-Yáñez, J; Saborío-González, M. Evaluación de diferentes aceros para la evolución de hidrógeno en KOH. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 14-21

- 1 Environmental Engineering, German, University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Am Zehnthaeusl 1a, 97450 Arnstein, Germany. Teléfono: (+49)1772831948. Correo electrónico: falkjulke@web.de.
- 2 Centro de Investigación en Corrosión, Instituto Costarricense de Electricidad, CP 10032-1000, San José, Costa Rica. Teléfono: (+506) 22205112. Correo electrónico: jrodriguezy@ice.go.cr.
- 3 Departamento Investigación en Energías Alternativas, Instituto Costarricense de Electricidad, CP 10032-1000, San José, Costa Rica. Teléfono: (+506) 20005747. Correo electrónico: msaboriog@ice.go.cr.

## Palabras clave

Voltametría; electrólisis; hidrógeno; hidróxido de potasio; acero; acero inoxidable; cronoamperometría.

## Resumen

Se estudió el comportamiento electroquímico de los diferentes tipos de aceros comerciales de bajo costo (A36, 430 y 304) como electrodos para la obtención de hidrógeno.

El propósito de este trabajo fue estudiar la evolución de hidrógeno, para lo cual se utilizaron técnicas electroquímicas como cronoamperometría y curvas voltamperométricas, en diferentes concentraciones de KOH (5% y 25% m/m). El acero inoxidable 304 en una concentración de 25% m/m tuvo el mejor desempeño, pues en estas condiciones el inicio de liberación de hidrógeno disminuyó y presentó el menor requerimiento de potencial para su uso como placa bipolar.

## Key words

Voltammetry; Electrolysis; Hydrogen; Potassium hydroxide; Steel; Stainless steel; Chronoamperometry.

## Abstract

This paper studies the electrochemical behaviour of different types of low-cost commercial steel (A36, 430 and 304) as electrodes to obtain hydrogen.

The aim of this work was to understand hydrogen evolution. The studies were conducted by different electrochemistry techniques like chronoamperometry and voltamperometric curves in different concentrations of KOH (5% and 25% m/m). The 304 stainless steel type in a 25% m/m KOH concentration had the best performance, because in these conditions the potential onset of hydrogen release decreased, demonstrating the lowest potential requirement for use as a bipolar plate.

---

## Introduction

The possibility of producing hydrogen by splitting water into hydrogen and oxygen was first discovered in 1789, and from that point on scientifically studied and developed (Rasten, Hagen & Tunold, 2003) (Bičáková & Straka, 2012).

Nowadays, water electrolysis has become a worldwide well established technology to produce hydrogen and many scientists treat this abundant element as energy carrier of the future. At the present day, hydrogen is predominantly used in the refining industry, as well as for the production of methanol and ammonia (Bičáková & Straka, 2012). Furthermore, a lot of applications and ideas are present, such as for example its use in industrial manufacturing processes as a substitute fuel in cars or as a portable energy carrier. The majority of hydrogen production in the world, approximately 96%, is obtained by steam reforming from natural gas. Water electrolysis with a share of 4% represents the second opportunity to obtain hydrogen, whereby several electrolysis

concepts with different systems exist (Rasten et al., 2003) (Bičáková & Straka, 2012).

The alkaline electrolysis is stated to be the most investigated, developed and mature technology, and therefore mostly used for large-scale water electrolysis. The main configuration of an alkaline electrolyzer is made up of a cathode and anode, isolated from one another by semi-permeable membranes or separator submerged in an electrolyte solution. Commercial electrolyzers usually operate under temperatures of between 70-100 °C and pressures in the range of 1-30 bar (Zuttel, A.; Borgschulte, A.; Schlapbach, 2008) (Jensen, O.J.; Bandur, V.; Bjerrum, J.N.; Jensen, H.S. & Ebbsen, S, 2008). In conventional alkaline electrolyzers, KOH aqueous solution electrolyte of 25% to 30% w/w is specified to be widely used due to the high conductivity in this range of concentration. (Mazloomi, Sulaiman & Moayedi, 2012). In addition, increasing the temperature of the KOH solution leads to higher conductivities. A rise of the specific conductivity from 0,6211 S\*cm<sup>-1</sup> to 1,0646 S\*cm<sup>-1</sup> was observed by measuring the

conductivity of a 30% w/w KOH solution at 25 °C and 100 °C, and consequently a higher efficiency was observed by operating the cell at higher temperatures (Gilliam, Graydon, Kirk & Thorpe, 2007).

It is common knowledge that the elements from group 8 (Fe, Ru, Os), group 9 (Co, Rh, Ir), group 10 (Ni, Pd, Pt) and their alloys are conventionally used as electrode, even if not all of these elements are suitable for their application in the water electrolysis process. Metals like platinum, iridium and gold are known to be the most efficient choices for the use of electrodes due to their high catalytic activity (Grimes C.A.; Varghese, O.K. & Ranjan, 2008). However, these noble metals are highly expensive, and therefore electrodes in commercial alkaline electrolyzers are typically made of nickel-plated steel and steel to bring down the material cost. The elements nickel, cobalt and iron have relatively low over potentials in KOH solution, and Ni additionally features high corrosion stability and seems to be one of the best choices as electrode material. The use of different commercial metals, covered with Ni, Co, Mo or other materials with electro-catalytic effects, as well as the treatment and modification of the electrode surface in order to obtain a large surface area to improve the reaction kinetics, is a general trend today. In addition, many experiments with advanced electrolyzers were performed, using different kinds of Ni, for example, Raney nickel, Ni foam substrate and Ni mesh. (Grimes, C.A.; Varghese, O.K. & Ranjan, 2008) (Bidault, B.; Middleton, Abson & Brandon, 2009) However, electrodes with a high percentage of Ni are more expensive in comparison to conventional kinds of steel, and frequently not affordable and economical for various electrolyzer projects.

Therefore, it became necessary to find commercial low costs metals, and to investigate them with respect to their properties during the electrolysis process by different types of measurement techniques

such as voltammetry and spectroscopy. Parameters affecting the total efficiency of an electrolyzer are the durability of the electrode material and the overvoltage in the electrolysis process. A further important basic parameter is the choice of a suitable metal for the electrodes, which was in our case predominantly limited by the material cost with the aim to keep this factor that is related to the total efficiency of an electrolyzer, as low as possible.

In view of these considerations, the goal of this paper is a study concerning the oxygen evolution reaction (OER) and hydrogen evolution reaction (HER) of three conventional low cost metals and to evaluate them by means of typical electrochemical methods.

## Experimental

### Electrodes

The electrodes were prepared with stainless steel 430 (SS 430), stainless steel 304 (SS 304) and standard steel (ASTM A36), and controlled with a spectrometer, type GDS 500A, LECO, according to the respective norm. The specifications of the respective kinds of steel are depicted in Table I. These electrodes were immersed in polyethylene resin in order to protect the junctions between the metal parts and the wires from the caustic solution.

All steels before start measures are polished with increased sand paper into 120 to 240 mesh.

### Solutions

Solutions of 25% and 5% KOH where prepared by using KOH pellets, manufactured by Panreac, with a purity of 85%. To dissolve the solid KOH, distilled water with a grade of IV was used, subject to the regulations ASTM 1193-2001 with a conductivity of less than 5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , a pH between 5 and 8, as well as concentrations of Na and Cl short of 50  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Table I. Chemical composition for steel ASTM A36, stainless steel 304 and stainless steel 430 in % w/w (Davis, J.R., 1998).

Material	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %
SS 430	0,05	1,0	1,0			16,0-18,0	
SS 304	0,08	1,0	2,0	0,05	0,03	18,0-20,0	8,0-10,5
A36	0,25	0,40	0,80	0,04	0,05		



## Electrochemistry experiments

### Equipment

For the current and voltage measurements a Gamry potentiostat galvanostat, model Reference 600, was used. It served to perform the different electrochemistry techniques to record the open circuit potential ( $E_{oc}$ ), as well as to obtain cyclic voltammetry (CV) and chronoamperometric (CA) curves. A common measure system was used, consisting of the working electrode with a geometrical area of 1 cm<sup>2</sup>, a large area Pt auxiliary electrode and an AgCl/Ag reference electrode. All the measured potentials have reference to AgCl/Ag.

All experiments were carried out at room temperature.

### Cyclic Voltammetry

Referring to the CV experiments, a number of cycles were applied between the limits of stability of the solution for the evolution of H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in order to obtain potential ranges and various redox peaks for each material, in solutions of 5 % KOH and 25 %, with a scan rate of 50 mV\*s<sup>-1</sup>, and with influence of air.

### Cronoamperometry

CA was performed in the region of H<sub>2</sub> evolution to assess the stability of the currents by applying poten-

tial jump from  $E_{oc}$ . Paying attention not to exceed the limits of the equipment that was operating in an open system because the potential exceeds the limits where the HER starts. This process served to estimate the quantity of hydrogen evolution at the same potential employing different steels.

## Results and discussion

### Cyclic voltammetry for several kinds of steel under different conditions

A variety of CV were performed between the limits of stability of the solution for the evolution of H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>, demonstrating the various redox peaks for each material in a solution of 5% KOH with a scan rate of 50 mV\*s<sup>-1</sup> these are depicted in figure 1.

The value of  $E_{oc}$  oscillates in a range of (-200 to -400) mV for all steels in both solutions.

In the case of SS 430, an oxidation peak of Fe (A1) is identified at a value near to (-675) mV and another one at the potential of (+350) mV associated to the oxidation of Cr (A2), whereas the reduction of Fe (C1) in (-1050) mV.

With respect to the CV of SS 304, the oxidation peaks were obtained at values of (-700) mV (A1) and (+350) mV (A2), similar to the results of SS 430. Referring to the reduction peaks, an additional peak associated to Ni appears at (+370) mV (C2), and

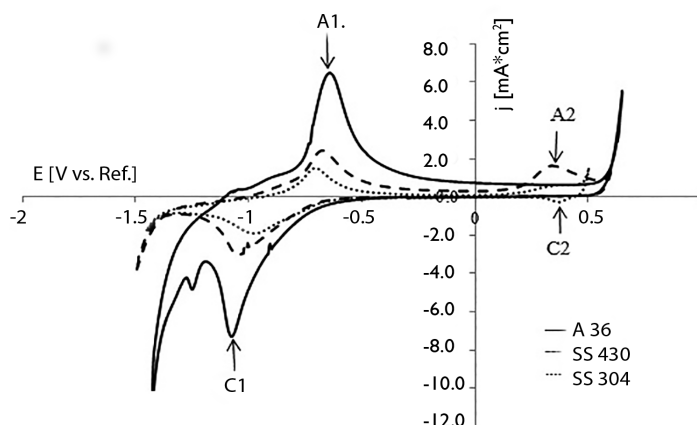


Figure 1: Cyclic Voltammetry of the different steels samples: 430 (dashed line), 304 (dotted line) and A36 (solid line) in a KOH 5% solution with at a velocity of 50 mV\*s<sup>-1</sup>, illustrating the different oxidation and reduction peaks, as well as the initial potential for the OER and HER.

the reduction peak of Fe appears at a potential of (-975) mV (C1).

For Steel A36 the main peak of the Fe oxidation (A1) was observed at (-635) mV, and in addition two reduction peaks for the iron at a potential of (-1050) mV (C1) and (-1200) mV were recognized, representing different reduction stages of Fe (Rebouillat, Lyons, Brandon & Doyle, 2011) (Freire et al., 2012) (Wieckowski & Ghali, 1985) (Song, Gervasio & Reserve, 1996).

CV were performed at concentrations of 5 and 25% KOH, to see differences. These showed slight variations in potential of the peaks, as well as at the highest peak increase in their intensities, by increasing the concentration of KOH, associated with the increased conductivity of the solution (see Table 4).

The CV experiments, carried out with different concentrations of KOH (5% and 25%), featured the effect of a displacement of the HER's and OER's initial potential, relative to the different materials, which can be seen in Table 2.

The increase of the KOH concentration led to a reduction of around 100 mV in the range of potential. The potential where the H<sub>2</sub> was released moved to a slightly lower value, while it was observed that the O<sub>2</sub> evolution potential decrease was higher.

Steel A36 exhibited the lowest initial potential for the H<sub>2</sub> evolution, whereas sample of SS 304 attained the lowest potential at the side where the evolution of O<sub>2</sub> occurs.

The initial slopes, calculated for each of the systems, showed increases in the KOH concentration and decreases in the values of electrode steel 304. An

enhancement of the concentration led to a rise of the slopes, for H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> by using electrode Steel A36. For sample of steel 430 the results differed and an increase for the H<sub>2</sub> side was noticed, while the contrary took place for O<sub>2</sub>.

### Measurement of H<sub>2</sub> evolution at a fixed potential

CA was performed to ascertain the H<sub>2</sub> production of the different metals in KOH solutions of 5 and 25% with respect to time. After adapting the E<sub>oc</sub> to the samples for a short initial period of 100 s, a defined and stable voltage of -1,8V was applied for 600 s, the respective charge measured and converted into amount of substance, applying a geometrical area of 1 cm<sup>2</sup>.

Applying low potentials shows that the evolution of H<sub>2</sub> is relatively stable over time (Freire et al., 2012) (Wieckowski & Ghali, 1985) (Song et al., 1996) (Olivares-Ramírez, Campos-Cornelio, Uribe Godínez, Borja-Arco & Castellanos, 2007). The amount depends on -1,8V generated from the electrode and the concentration of KOH, finding that increasing the concentration of 5% to 25%, H<sub>2</sub> production in SS 430 and A36 is doubled, whereas SS304 is approximately 1,5. This is shown in Figure 2.

During the evolution of hydrogen, the electrode behavior of SS 430 and steel A36 was similar, and the SS 304 featured the highest evolution of H<sub>2</sub> compared to the other samples in both KOH solutions. This behavior can be associated with the Ni content and its electro-catalytic effect in respect to the other materials (Bidault et al., 2009) (Freire et al., 2012) (Wieckowski & Ghali, 1985) (Song et al., 1996) (Olivares-Ramírez et al., 2007).

Table 2: Potential of H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> evolution (mV) for different materials tested at their global range, as well as the initial slopes of detachment (V\*A<sup>-1</sup>).

Material	KOH (%)	Evol. H <sub>2</sub> (mV)	Evol. O <sub>2</sub> (mV)	Range (mV)	Slope H <sub>2</sub> (V*A <sup>-1</sup> )	slope O <sub>2</sub> (V*A <sup>-1</sup> )
SS 430	5	-1500	600	2100	25,5	31,8
SS 430	25	-1550	500	2050	48,7	8,6
SS 304	5	-1500	600	2100	70,2	27,5
SS 304	25	-1550	400	1950	19,4	4,0
A36	5	-1450	650	2100	7,1	12,5
A36	25	-1450	560	2010	18,3	20,2

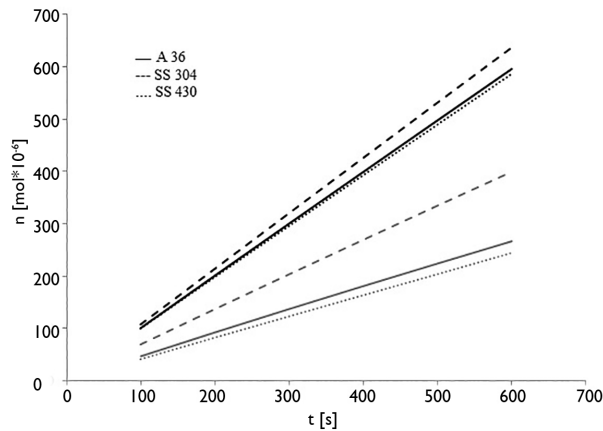


Figure 2. Amount of H<sub>2</sub> evolved at a fixed potential of -1800 mV in KOH solutions of 5% (grey) and 25% (black) with the time, for A36 (solid line), SS 304 (dashed line) and SS 430 (dotted line).

It was observed that increasing the concentration of the solution led to a higher increase of the H<sub>2</sub> production rate using electrodes SS 430 and A 36 compared to SS 304, which can be seen in the difference of the slopes presented in table 3.

### Effects of the HER on the distinct kinds of steel

CV was carried out before and after the HER to obtain voltammograms showing the effects of the HER on the materials, where the HER was conducted by applying a fixed potential similar to the experiment of 2.3 using the CA-method to perform the detachment of H<sub>2</sub>.

Table 3: Different slopes for evolution of H<sub>2</sub> for SS 430, SS 304 and steel A36 in KOH solution of 5% and 25%.

Material	KOH	Slope [mol*10 <sup>-6</sup> *s <sup>-1</sup> ]
SS 430	5%	0,405
SS 430	25%	0,989
SS 304	5%	0,661
SS 304	25%	1,058
A 36	5%	0,439
A 36	25%	0,974

The evolution of H<sub>2</sub> affects the peaks of the electrodes, mainly modifying the oxidation and reduction peaks of Fe, while the other peaks kept stable or became more defined after the HER as depicted in figure 3 for SS 304 (Olivares-Ramírez et al., 2007).

It was observed that the height of the peaks increased in both solutions after the HER was carried out, as represented in table 4. The differences of the rise in the peaks were not significantly different in respect to the distinct concentrations of KOH.

In A36 the change in the peaks is not significant, but for SS 430 if concentration of KOH increases, the change in the peaks decreases. For SS 304 if concentration of KOH increases affect the different form the peaks, the A1 peak increases, while the C2 peak decreases, and for the others, the effect on the peak is not significant.

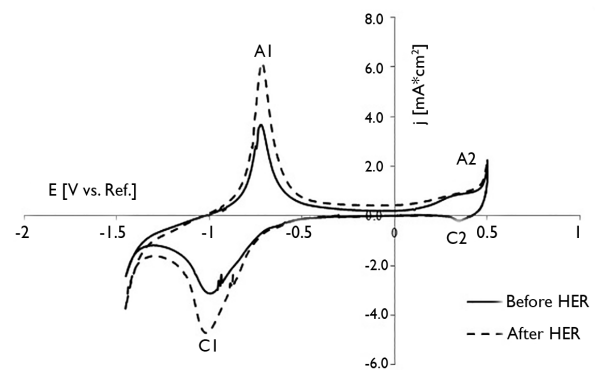


Figure 3. A graphic illustrating the CV for SS 304 in the diluted solution of 5% KOH before (solid line) and after (dashed line) the HER.

Table 4: Relation of the height between the different occurring peaks before (b) and after (a) the HER in KOH 5% (see Figure 3).

Material	KOH [%]	A1 a. / A1 b.	A2 a. / A2 b.	C1 a. / C1 b.	C2 a. / C2 b.
SS 430	5	3,21	1,23	2,75	-
SS 430	25	1,21	1,28	1,42	-
SS 304	5	1,68	1,07	1,51	2,82
SS 304	25	2,80	1,14	1,88	1,49
A36	5	1,57	-	1,49	-
A36	25	1,64	-	1,60	-

### Estimation of use in bipolar cell for the distinct kinds of steel

Applying CV beyond HER and OER can estimate the necessary potential for a given current in a bipolar cell (same electrode where anode and cathode).

The figure 4 presents the relationship DE vs I obtained in each type of steel. You can see that it takes less of DE for the same intensity with SS304, with respect to SS430 or A36.

### Conclusions

the stainless steel shows more peak in a CV about normal steel (A36) and with low current.

It was observed that all materials are generally located in the same range of potential in view of the potential necessary to start the HER and OER, respectively.

Furthermore, it was found that the use of a 25% KOH solution serves to reduce the initial potential of the HER and OER and is therefore recommended as an electrolyte.

In general, steel A36 featured the lowest initial potential for the evolution of H<sub>2</sub>, while the different kinds of stainless steel showed similar potentials that were a shade higher.

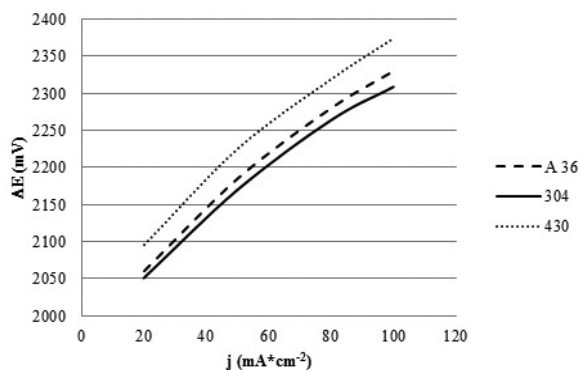


Figure 4. DE vs j for different steel: 430 (dotted line), 304 (solid line) and A36 (dashed line) in a KOH 25% solution, CV with at a velocity of 50 mV\*s<sup>-1</sup>

The initial slope for H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> evolution decreases only for 304 when there is an increase in the KOH concentration.

In terms of the evolution of hydrogen at a fixed potential (-1800 mV), electrode SS 304 exhibited the highest production of H<sub>2</sub>, qualifying that there is a most efficient option for the use as cathode in the materials evaluated.

The KOH concentration of the electrolyte turned out to have an important influence on the production rate, where an increased 5% to 25% KOH concentration approximately doubles the H<sub>2</sub> production.

Necessary potential for use this steels where bipolar plate, show what SS 304 is the best material of the samples.

The effect of the HER on the electrodes, investigated by the voltammetry measurements before and after the evolution of H<sub>2</sub>, present high differences in peaks associated to Fe, and did not show an important modification in other peaks.

### Acknowledgements

the authors are grateful for the scientific and technical support from the Alternative Energy Department of the Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Costa Rica.

### References

- BiČáková, O., & Straka, P. (2012). Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness. *International Journal of Hydrogen Energy* 37(16), 11563–11578. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.05.047
- Bidault, F., Brett, D.J.L., Middleton, P.H., Abson, N., & Brandon, N.P. (2009). A new application for nickel foam in alkaline fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy* 34(16), 6799–6808. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.06.035
- Davis J.R. (1998). *Metal Handbook*. (Desk Edition, Ed.) (Second.). USA: ASM International.
- Freire, L., Catarino, M.a., Godinho, M.I., Ferreira, M.J., Ferreira, M.G.S., Simões, a. M.P. & Montemor, M.F. (2012). Electrochemical and analytical investigation of passive films formed on stainless steels in alkaline media. *Cement and Concrete Composites* 34(9), 1075–1081. doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.06.002

- Gilliam, R., Graydon, J., Kirk, D. & Thorpe, S. (2007). A review of specific conductivities of potassium hydroxide solutions for various concentrations and temperatures. *International Journal of Hydrogen Energy* 32(3), 359–364. doi:10.1016/j.ijhydene.2006.10.062
- Grimes C.A., Varghese O.K. & Ranjan, S. (2008). *Water, hydrogen, hydrogen. The solar generation of hydrogen by water photoelectrolysis.* (pp. 43–45). USA: Springer.
- Jensen O.J., Bandur, V., Bjerrum, J. N., Jensen, H.S., Ebbsen, S., Mogensen, M. & Tophøj N. (2008). *OF WATER ELECTROLYSIS* (pp. 5–33). Denmark.
- Mazloomi, K., Sulaiman, N. & Moayedi, H. (2012). Electrical Efficiency of Electrolytic Hydrogen Production, 7, 3314–3326.
- Olivares-Ramírez, J.M., Campos-Cornelio, M.L., Uribe Godínez, J., Borja-Arco, E. & Castellanos, R.H. (2007). Studies on the hydrogen evolution reaction on different stainless steels. *International Journal of Hydrogen Energy* 32(15), 3170–3173. doi:10.1016/j.ijhydene.2006.03.017
- Rasten, E., Hagen, G. & Tunold, R. (2003). Electrocatalysis in water electrolysis with solid polymer electrolyte. *Electrochimica Acta* 48(25-26), 3945–3952. doi:10.1016/j.electacta.2003.04.001
- Rebouillat, S., Lyons, M.E.G., Brandon, M.P. & Doyle, R.L. (2011). Paving the Way to The Integration of Smart Nanostructures: Part II: Nanostructured Microdispersed Hydrated Metal Oxides for Electrochemical Energy Conversion and Storage Applications 6, 5830–5917.
- Song, I., Gervasio, D. & Reserve, C.W. (1996). Electrochemical behaviour of iron and iron oxide thin films in alkaline (1 M KOH) aqueous solution: a voltammetry study for cathodic instability of coating] metal interface, 26, 1045–1052.
- Wieckowski, A. & Ghali, E. (1985). On the interpretation of cyclic voltammograms of iron electrode in alkaline solution at elevated temperatures. *Electrochimica Acta* 30(11), 1423–1431. doi:10.1016/0013-4686(85)80002-5
- Zuttel, A., Borgschulte, A. & Schlapbach, L. (2008). *Hydrogen as a Future Energy* (p. 158). Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.

# Gestión de materiales y residuos radiactivos en la Universidad de Tübingen, Alemania

## Tübingen University Radioactive Material and Waste Management

*Jose Carlos Mora-Barrantes<sup>1</sup>  
Roy Zamora-Sequeira<sup>2</sup>  
David Benavides-Ramírez<sup>3</sup>  
Thomas Haug<sup>4</sup>*

*Fecha de recepción: 28 de julio del 2013  
Fecha de aprobación: 19 de noviembre del 2013*

Mora-Barrantes, J; Zamora-Sequeira, R; Benavides-Ramírez, D; Haug, T. Gestión de materiales y residuos radiactivos en la Universidad de Tübingen, Alemania. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 22-31

- 1 Químico Industrial, Universidad Nacional, Costa Rica. Teléfono: 22773403. Correo electrónico: jose.mora.barrantes@una.cr.
- 2 Químico Industrial. Instituto Nacional de Aprendizaje, Costa Rica. Teléfono: 22902024. Correo electrónico: zamoraroy@yahoo.com.
- 3 Químico Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Teléfono: 89936448. Correo electrónico: dbenavides@itcr.ac.cr.
- 4 Químico Físico. University of Tübingen, Alemania. Teléfono: +49 7071 29-77874. Correo electrónico: thomas.haug@uni-tuebingen.de.

## Palabras clave

Material radiactivo; residuos radiactivos; salud; ambiente; gestión adecuada.

## Resumen

Un material radiactivo es toda sustancia o átomo que emite radiaciones ionizantes y no ionizantes; la radiactividad puede ser natural, artificial o inducida. La radiactividad se utiliza en el mundo en ramas de la ciencia como ecología, medicina, agricultura, industria, biología y química. En Costa Rica se usan materiales radiactivos en campos de aplicación industrial, médica y universitaria. Las fuentes radiactivas van desde las de muy baja radiactividad hasta las de muy alta actividad, por ejemplo,  $Am^{241}$  y  $Ra^{226}$ , utilizadas en centros universitarios costarricenses. No obstante, si los materiales radiactivos no se manipulan correctamente, pueden tener efectos negativos en la salud y el medio ambiente, por lo tanto es necesario tomar medidas preventivas y protectoras. Costa Rica regula el uso de materiales radiactivos mediante el Decreto Ejecutivo N° 24037-S., sin embargo, no existe formalmente un plan nacional de manejo y eso limita su gestión en las instituciones donde se utilizan y por ende el tratamiento y disposición final de los residuos. El presente trabajo de investigación analiza la gestión en materiales radiactivos que realiza el Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen, Alemania, mediante la determinación y análisis de diferentes acciones y datos relacionados con 1) aspectos administrativos (manuales, protocolos, normativas) y 2) aspectos técnico-operativos (control de la contaminación, infraestructura, equipos y materiales de seguridad, tratamiento de residuos). La información se recopiló y analizó mediante herramientas como cuestionarios, listas de chequeo, entrevistas, visitas de inspección, sesiones de trabajo y revisión de documentos.

## Keywords

Radioactive material; radioactive waste; health; environment; adequate management.

## Abstract

Radioactivity is the process by which a nucleus of an unstable atom loses energy by emitting particles of ionizing and non-ionizing radiation. Radioactivity could be natural or induced. Worldwide, the radioactive materials have many applications in science fields like; ecology, medicine, agriculture, industrial, biology and chemistry. In Costa Rica radioactive materials are used in hospitals, industries and universities. Sources used presents low and high activity level, for example the ones used in universities are  $Am^{241}$  and  $Ra^{226}$ . However in order to protect human health and environment, radioactive materials must be managed correctly. Costa Rica radioactive material management is based on regulation 24037-S. Nevertheless, there is no national plan or strategies to manage the materials in a correct form. There are still limitations for users to manipulate, treat and dispose radioactive materials. This work analyzed the radioactive material management at Isotope Laboratory & Radiation Protection, University of Tübingen. Two main aspects were evaluated; 1- Administrative Aspects (manuals, protocols and regulation) and 2- Technical-operatives Aspects (pollution control, facilities, equipment and waste management). The information was collected and analyzed by using the following tools; questionnaire, check list, interview, site inspection, work sessions and documents revision.

## Introducción

Un material radiactivo es toda sustancia o átomo que emite radiaciones ionizantes y no ionizantes; la radiactividad puede ser natural o artificial (Greenberg, 2009). La radiación ionizante posee la energía suficiente para ionizar la materia, desplazando los electrones de sus órbitas, la no ionizante no tiene esta capacidad (McLintock, 1996). Debido a la carga positiva de los protones, estos están constantemente rechazándose unos a otros; la mayoría se mantienen unidos en una situación estable, pero algunas combinaciones de protones y neutrones no pueden mantener el equilibrio y cambian (decaen) espontáneamente hasta alcanzar una forma más estable liberando ciertas partículas. Estos cambios se conocen como radiactividad y esos átomos son «isotopos radiactivos». Para alcanzar su forma más estable, se debe liberar algo de la energía del átomo y es esta energía la que se conoce como «radiación». A los átomos, o “nucleidos”, que decaen o se transforman en otros nucleidos se les puede denominar “radionucleidos”. Aproximadamente hay 280 nucleidos estables pero la gran mayoría son inestables o “radiactivos” (Berlin & Stanton, 1989).

La propiedad de los isotopos de emitir radiación se ha convertido en una herramienta útil y necesaria en las diferentes ramas de la ciencia para análisis de elementos trazas, procesos físicos, químicos, biológicos y médicos, como fuentes intensas de radiación en radiografías industriales y medicina nuclear, en la esterilización de material quirúrgico desechable, productos químicos y biológicos, etc. (OECD, 2010, OIEA, 2003). No obstante, los materiales radiactivos tienen efectos importantes en el medio ambiente y en la salud de las personas si no se manipulan de forma segura y correcta (OIEA, 2009, Simon, 2009). Las radiaciones ionizantes pueden romper los enlaces entre los átomos dentro de las moléculas de las células vivas, pudiendo cambiar la naturaleza de los átomos mismos, con el potencial de ocasionar su muerte o un cambio en su funcionamiento.

Los efectos sobre la salud y el medio ambiente dependen de la reacción de los radionucleidos con la materia y de su vida media (tiempo de desintegración) (Berlin & Stanton, 1989). Las vidas medias varían desde fracciones de segundo a millones de años y de estas depende en gran medida la cantidad de radiactividad recibida por un cuerpo, la cual se expresa como “dosis absorbida” y la unidad de

medida es el “gray” (Gy). Debido a que las diferentes partes del cuerpo son afectadas de manera diferente por la misma cantidad de radiación, se creó un factor de ponderación para calcular el riesgo global para el organismo proveniente de las exposiciones parciales, llamado “Dosis Equivalente Efectiva” (la unidad de medición es sieverts o Sv), que es la suma ponderada de las dosis equivalentes para los órganos individuales y la irradiación total del cuerpo. La dosis equivalente en Sv es numéricamente igual a la dosis absorbida en Gy (Schleien, 1992). Según los estándares de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), los límites anuales de las dosis para un trabajador ocupacionalmente expuesto son los siguientes (Decreto Ejecutivo, 24037, 1995): 1) para la totalidad del organismo referido a cualquier periodo de 12 meses consecutivos es de 20 miliSieven, pudiendo superarse este valor siempre y cuando en un periodo de cinco años consecutivos no se sobrepasen los 100 miliSieven y nunca los 50 miliSieven en un solo año; 2) para manos, pies y piel será de 500 miliSieven y 3) para el cristalino de 150 miliSieven.

En el cuadro 1 se muestran algunos límites de exposición (Sv) y su efecto biológico probable (Greenberg, 2009).

Durante el manejo de materiales radiactivos se requiere aplicar principios y regulaciones con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente (Ringius, 2001, SEPR, 2002). Cualquier organización que esté directa o indirectamente asociada con materiales radiactivos debe establecer los criterios tendientes a proteger la salud de la población de los riesgos radiológicos que puedan derivarse del uso de radiaciones ionizantes y actividades afines (OECD, 2010, OIEA, 2003, University of Liverpool, 2008).

En Costa Rica se utilizan materiales radiactivos (fuentes selladas), así como compuestos químicos e insumos, en el marco de los usos pacíficos de la energía nuclear. En el cuadro 2 se muestran algunas de las fuentes utilizadas en el país (Estado de la Nación, 2004).

Además, el país utiliza compuestos químicos radiactivos como el citrato de galio y el óxido de torio. En los hospitales, el medicamento radiactivo más utilizado es el yoduro de sodio-131, cuyo periodo de semidesintegración es de 8,04 horas.



Cuadro 1. Límites de exposición general y efectos biológicos de las radiaciones.

Dosis agudas (Sv)	Efecto probable
0-25	Ninguna lesión evidente.
25-50	Posibles alteraciones en la sangre pero ninguna lesión grave.
500-100	Alteraciones de las células sanguíneas. Alguna lesión. Ninguna incapacitación.
100-200	Lesión. Posible incapacitación
200	Certeza de lesión e incapacitación. Probabilidad de defunción.
400	50% de mortalidad.
600 o más	Mortal.

Cuadro 2. Fuentes radiactivas utilizadas en Costa Rica.

Fuente radiactiva	Uso	Vida media
Cobalto-60	Servicios de radioterapia	5.27 años
Yodo-125	Laboratorios de radioinmunoanálisis	60.1 días
Tecnesio-99m	Servicios de medicina nuclear	6.02 horas
Iridio-192	Radiografías, Gammagrafías	30 años
Cesio-137	Industria (control de calidad)	30 años
Americio-Berilio 242	Industria (control de calidad)	30 años
Estroncio-90	Industria (control de calidad)	29.1 años

Las cantidades que ingresan al país dependen de las necesidades que tienen las empresas, universidades o establecimientos médicos. En total hay 270 fuentes que se usan con fines médicos y 43 fuentes en empresas (Estado de la Nación, 2004). En el caso específico de instituciones de enseñanza superior y por la variedad de sus actividades, se utilizan materiales radiactivos (fuentes selladas y radioisotopos) que generan residuos radiactivos, como líquidos (agua, centello, alcoholes, cetonas y ácidos, entre otros) y sólidos (material metálico punzocortante, papel, algodón, excretas, cadáveres, bolsas, guantes y cristalería, entre otros) contaminado con material radiactivo (Biedscheid & Devarakonda, 2005, McLintock, 1996, Mora & Varela, 2006).

Respecto a los materiales radiactivos utilizados en las universidades, en Costa Rica se utilizan fuentes desde baja a muy alta toxicidad, tal y como se indica en el cuadro 3 (Mora & Varela, 2006)

En Costa Rica, la legislación indica que en las instalaciones donde se empleen fuentes o material radiactivo debe existir un lugar especialmente diseñado para el almacenamiento temporal de sus desechos, debidamente autorizado por la autoridad competente. Además, deben contar con un plan de manejo de desechos radiactivos durante todas sus etapas: identificación, segregación, almacenamiento, uso y disposición final (Decreto Ejecutivo N° 24037-S). No obstante, a pesar de la reglamentación existente, la gestión de residuos radiactivos no ha sido debidamente abarcada y no existe formalmente un plan nacional de manejo de desechos radiactivos, lo que limita su gestión en las distintas instituciones y por ende el tratamiento y disposición final de los residuos (Estado de la Nación, 2004).

El objetivo principal de la presente investigación es identificar los aspectos administrativos, técnicos y operativos relacionados con la gestión de productos

Cuadro 2. Algunas fuentes radiactivas y sus radionucleidos utilizados en centros universitarios de Costa Rica.

Radiotoxicidad	Radionucleidos
Muy alta	Am <sup>241</sup> , Ra <sup>226</sup> , Cm <sup>244</sup> , Pu <sup>239</sup> , Cf <sup>252</sup>
Alta	Mn <sup>54</sup> , Na <sup>22</sup> , Sr <sup>90</sup> , Co <sup>60</sup> , Cs <sup>137</sup> , Cl <sup>136</sup> , Bi <sup>210</sup>
Moderada	Zn <sup>65</sup> , Fe <sup>55</sup> , Cd <sup>109</sup> , Eu <sup>152</sup> , Co <sup>57</sup> , Sn <sup>113</sup> , C <sup>14</sup> , Tc <sup>99</sup> , Y <sup>90</sup> , Pm <sup>147</sup>
Baja	Th <sup>232</sup> , U <sup>238</sup> , U <sub>3</sub> O <sub>8B</sub> , UO <sub>2</sub>

y residuos radiactivos que realiza el Laboratorio de Isotopos de la Universidad de Tübingen en Alemania, entidad responsable de la gestión de materiales radiactivos de esta institución.

## Metodología

### Sitio de Investigación

Este trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen, Alemania, del 1 de abril al 3 de junio de 2013. El laboratorio de isotopos y protección radiológica de esta universidad fue creado en 1975, con el fin de brindar apoyo a todas las instancias de la universidad relacionadas con el uso de materiales radiactivos, cumpliendo de esta manera con la normativa nacional e internacional y procurando así la protección de la salud de profesores, estudiantes y empleados en general, así como del medio ambiente. El laboratorio cuenta con 15 personas para cumplir con sus labores administrativas y técnico-operativas, desarrollando sus actividades en las siguientes áreas internas ([www.uni-tuebingen.de/isotopenlabor](http://www.uni-tuebingen.de/isotopenlabor)):

- Bodega de productos radiactivos y fuentes selladas.
- Tres laboratorios de control de calidad (análisis de reactividad en muestras de suelo, agua, material sólido y líquido, medicamentos, materia prima).
- Cuarto instrumental de medición de radiactividad.
- Cuarto instrumental para la protección radiológica.
- Zona de almacenamiento temporal y permanente de residuos radiactivos.

- Vehículo para transporte de material radiactivo.
- Áreas administrativas.
- Salones de reunión y capacitación.

Entre los servicios que brinda el laboratorio están: capacitación en el uso de materiales radiactivos, entrenamiento a estudiantes e investigadores, dotación de licencias a personas para el uso de materiales radiactivos, control de la exposición (mediante dosimetría) en personas expuestas directamente a materiales radiactivos, transporte de materiales y residuos y administración de la protección radiológica.

### Generación de información

Con el fin de identificar los procedimientos administrativos y técnico-operativos relacionados con el uso, almacenamiento, transporte y disposición final de los materiales radiactivos utilizados en el sitio de investigación, se realizaron las siguientes actividades: 1) desarrollo de un cuestionario y/o lista de chequeo, 2) visita (inspección) y aplicación de los cuestionarios a los sitios del laboratorio donde se usan y almacenan materiales radiactivos, 3) sesiones de trabajo con funcionarios y 4) revisión de planes, protocolos, procedimientos y directrices.

### Análisis de datos

La información obtenida a partir de la aplicación de los cuestionarios, entrevistas, visitas y la documentación investigada se recopiló y analizó con el fin de identificar, analizar y actualizar las actividades administrativas y técnico-operativas realizadas por el Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen. Se identificó y analizó la gestión de materiales radiactivos en relación con los siguientes dos aspectos: I. Administrativos (manuales y protocolos para la protección radiológica, normativas internas para manejo de material

radiactivo); y 2. Técnico-operativos (actividades para el control de la contaminación, infraestructura, equipos y materiales de seguridad para la medición, control y seguimiento de la radiación, tratamiento y disposición final de residuos radiactivos).

## Resultados y discusión

### Aspectos administrativos

Entre las acciones que el laboratorio gestiona respecto a la protección radiológica están las siguientes: definir áreas de acceso a sitios que manipulan materiales radiactivos, brindar información para acceso a áreas restringidas, brindar datos de contacto (nombre, teléfonos) en caso de emergencias, definir y dotar de licencias a personas para que trabajen con materiales radiactivos, controlar la radiación física y médica, definir acciones para la importación y exportación de materiales radiactivos, definir medidas de protección radiológica para fuentes selladas y no selladas, monitorear y supervisar la contaminación radiológica, habilitar áreas para el trabajo con materiales radiactivos, coordinar la operación de equipo médico, físico, químico, etc. relacionado con fuentes radiactivas y hacer la medición de las tasas de dosis y de exposición de las personas, entre otros. Con el fin de garantizar el cumplimiento de estas acciones, el laboratorio genera y aplica diferentes protocolos, manuales y normativas para la gestión adecuada de materiales y residuos radiactivos.

### Protocolos

Entre los protocolos más relevante están los siguientes: 1) Formulario para el manifiesto de residuos radiactivos, 2) Procedimiento para la disposición de materiales radiactivos en el ambiente, 3) Protocolo para la manipulación de materiales radiactivos por encima del límite permitido, 4) Formulario para la recolección de materiales radiactivos, 5) Procedimiento para la inscripción de personal para protección radiológica, 6) Procedimiento para la manipulación de materiales radiactivos, 7) Procedimiento para la aplicación de capacitaciones iniciales, 8) Formulario de examen médico para la protección radiológica, 9) Formulario para el registro de la dosimetría, 10) Protocolo para la solicitud de trabajo en el laboratorio de isótopos y protección radiológica, 11) Directriz para la entrega de productos radiactivos, 12) Protocolo de solicitud de sustancias radiactivas.

### Manuales

El manual más importante es el Manual para la Protección contra la Radiación en la Universidad de Tübingen, creado en 2001 por el laboratorio con el fin de brindar toda la información necesaria a la población universitaria y externa (visitantes, proveedores, etc.). Este manual contiene guías específicas e instrucciones para el personal de operación (personas que se exponen diaria y directamente con materiales radiactivos), de limpieza, de mantenimiento y operación, usuarios, visitantes, profesores y estudiantes. El manual indica todos los procedimientos para el uso, manejo, disposición y transporte de materiales radiactivos tanto para la parte operativa como para el entorno administrativo. Asimismo, indica lo que se debe hacer en caso de situaciones de emergencia, el personal de contacto, etc. Con este manual, el laboratorio busca mantener un ambiente de trabajo sano dentro de sus instalaciones y sobre todo brindar información de primera mano al usuario para una adecuada protección radiológica.

### Normativa

Parte de la documentación que elabora y aplica el laboratorio es resultado de la normativa nacional e internacional vigente. En este sentido, el laboratorio genera y cumple con la siguiente normativa: Ley de Energía Atómica, Directiva Europea 96/29 Euratom, Reglamento para la protección de radiaciones ionizantes, Reglamento administrativo general, Directrices relativas para los conocimientos técnicos en materia de protección radiológica, Directivas para prueba de fugas en materiales radiactivos cerrados, Directiva para la vigilancia de la protección radiológica (física) para identificar dosis corporales, Reglamento de protección contra el daño causado por los rayos X y Aplicación de la Ordenanza de Protección contra la Radiación.

### Aspectos técnico-operativos

Las siguientes son las actividades y acciones desarrolladas dentro del laboratorio para el cumplimiento de la gestión técnico-operativa.

### Actividades para el control de la contaminación

#### *Infraestructura, equipos y materiales de seguridad para la medición, control y seguimiento de la radiación*

El Laboratorio de Isótopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen cuenta con sitios

para el almacenamiento y tratamiento de materiales radiactivos, así como laboratorios donde tanto el personal interno como el externo pueden realizar diferentes actividades relacionadas con el control de la contaminación. El cuadro 3 muestra parte de estas facilidades y acciones.

### Tratamiento y disposición final de residuos radiactivos

Con respecto al manejo de los residuos radiactivos generados en la universidad, el personal del laboratorio lleva un control estricto tanto de los desechos generados en sus propias instalaciones como en sitios externos, cumpliendo con todas las etapas de un adecuado sistema de gestión de residuos (identificación, segregación, transporte, almacenamiento y disposición final).

Cada ente generador es el responsable único de identificar correctamente los recipientes donde almacenan sus residuos e identificar su contenido. Para la identificación del residuo, el generador debe utilizar el formulario correspondiente que el laboratorio ha diseñado y distribuido con antelación. En el formulario se debe indicar, entre otros datos, los isótopos y su actividad radiactiva aproximada.

Una vez que los residuos radiactivos son recibidos en el laboratorio, se verifica la actividad radiactiva declarada por el generador. Para los residuos líquidos se toma una muestra en un vial y se analiza su actividad en un contador electrónico. Para los residuos sólidos se utiliza un detector portátil con el fin de obtener un dato previo y se corrobora la actividad radiactiva mediante su medición en un contador electrónico.

Posteriormente a la medición de la actividad radiactiva, los residuos tanto sólidos como líquidos son almacenados hasta que su radiactividad esté dentro de los límites permisibles para ser dispuestos como residuos ordinarios (no peligrosos) o recibir un tratamiento externo como residuos peligrosos no radiactivos. La actividad radiactiva de los residuos almacenados (sólidos y líquidos) se mide frecuentemente dependiendo de la vida media de cada isótopo (horas, días, meses, años).

Cuando la radiactividad de los residuos sólidos está por debajo del límite permitido, se dispone de ellos como basura ordinaria. En caso de que los residuos sólidos presenten actividad radiactiva (superior a los

estándares permisibles) se almacenan en un sitio acondicionado para tal fin hasta que su actividad decaiga y posteriormente se dispone de ellos como residuos ordinarios.

Los residuos líquidos pueden ser tanto acuosos como orgánicos. Si ambos tipos de residuos tienen una actividad radiactiva permisible para ser tratados externamente, se procede de la siguiente manera: a) los residuos acuosos son descargados al sistema de tratamiento de aguas residuales de la universidad, y b) los residuos orgánicos son tratados mediante una planta de incineración externa. Los residuos acuosos son principalmente aguas de lavado de los diferentes sitios de la universidad que trabajan con material radiactivo; estos se transportan mediante tuberías hasta tanques de almacenamiento ubicados dentro del laboratorio, donde se les mide diariamente su radiactividad. En caso de que los residuos orgánicos presenten una actividad por encima del límite permisible, se deben almacenar temporalmente en el laboratorio hasta que ésta decaiga. Los residuos acuosos se mantienen en los tanques de almacenamiento hasta que su radiactividad permita el descargo al sistema de alcantarillado de la universidad. La figura 1 muestra el flujo de las actividades en el tratamiento de los residuos radiactivos sólidos y líquidos acuosos y líquidos orgánicos.

### Conclusiones

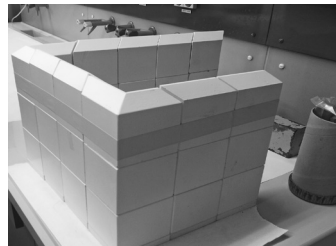
Se identificaron y analizaron los aspectos administrativos y técnicos-operativos realizados en el Laboratorio de Isótopos y Protección radiológica de la Universidad de Tübingen para la gestión de materiales radiactivos. Entre los aspectos administrativos se identificaron protocolos, manuales y normativas generados en el laboratorio que son objeto de aplicación institucional. Los protocolos permiten acciones como: manifestación de residuos radiactivos, disposición de materiales radiactivos en el ambiente, manipulación de materiales radiactivos por encima del límite permitido, recolección de materiales radiactivos e inscripción de personal para protección radiológica.

El manual más importante es el Manual para la Protección contra la Radiación en la Universidad de Tübingen, que brinda toda la información necesaria a la población universitaria y externa (visitantes, proveedores, etc.) para la protección radiológica.

Cuadro 3. Facilidades para la gestión de materiales radiactivos del Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen.



Zona de gabachas: Cada persona que trabaja dentro del laboratorio tiene gabachas asignadas y existen gabachas para los visitantes.



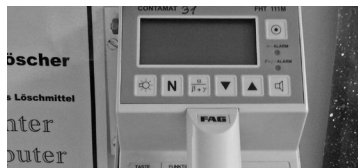
Zona de trabajo con material radiactivo; el compartimiento es un material que minimiza la exposición a la radiación mientras la persona trabaja.



Capillas de extracción y gabinetes especiales para almacenar material radiactivo.



Equipo para verificación de la contaminación personal.



Equipos portátiles y fijos (dosímetros, medidores y detectores de radiación) utilizados para medir la contaminación o emisión radiactiva de diferentes materiales.



Almacenamiento de materiales radiactivos con alta actividad; se utiliza un recubrimiento externo con parafina y en la parte interna láminas de plomo.

El laboratorio cumple y genera normativa relacionada con la Ley de Energía Atómica, la Directiva Europea 96/29 Euratom, el Reglamento para la protección de radiaciones ionizantes y la Directiva para la vigilancia de la protección radiológica (física) para identificar dosis corporales.

Respecto a los aspectos técnicos operativos, se identificaron acciones y disponibilidad de infraestructura, equipos y materiales para la medición y el control de la radiación entre los que se destaca

el uso de dosímetros, medidores y detectores de radiación, zonas de trabajo para material radiactivo, sitios para almacenamiento de material radiactivo, capillas para uso exclusivo de material radiactivo.

Finalmente, se analizó el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos y líquidos contaminados con material radiactivo. Se constató que el personal del laboratorio lleva un control estricto tanto de los residuos generados en sus propias instalaciones como de los provenientes de sitios externos,

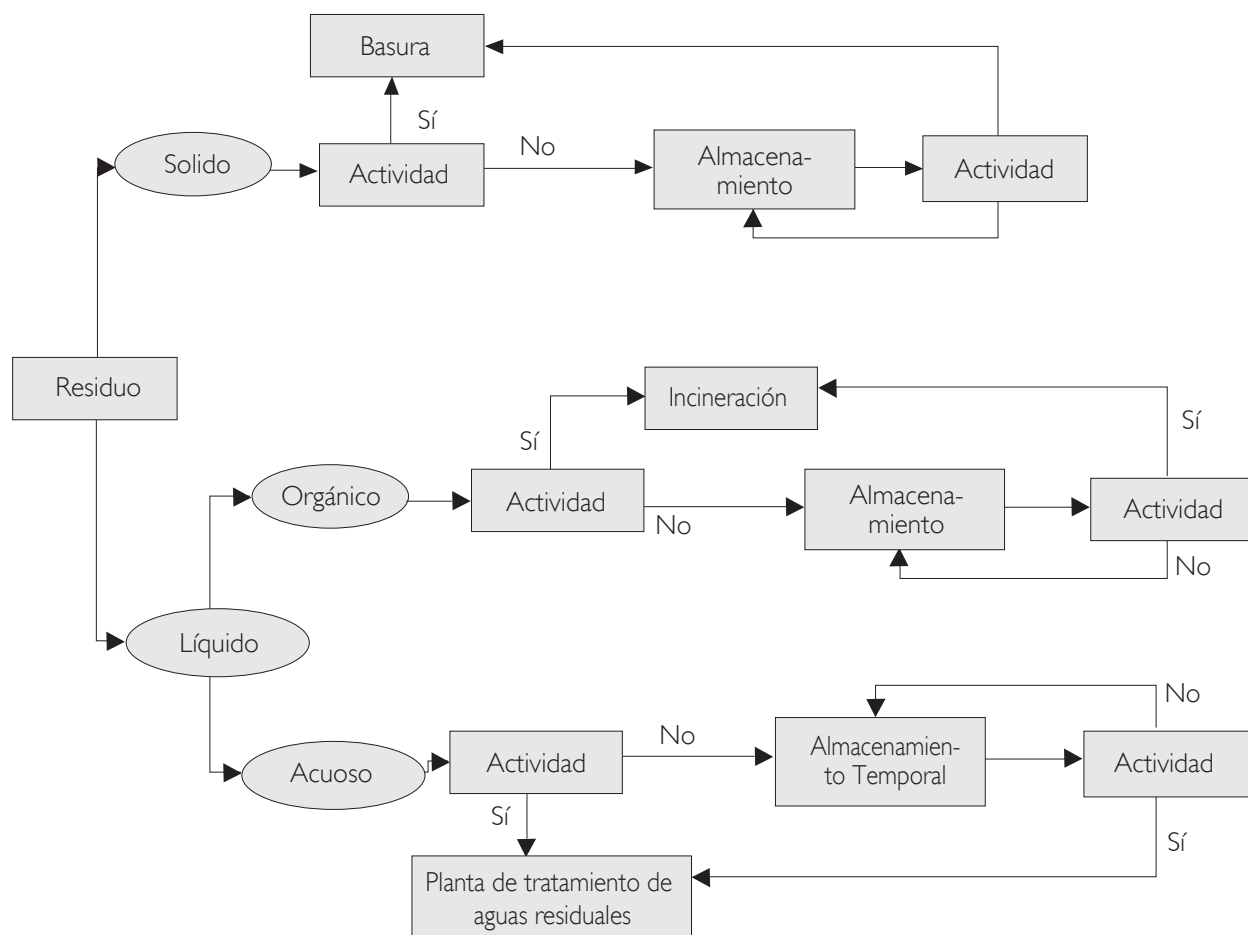


Figura 1. Flujograma de la gestión de residuos radiactivos en el Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen, Alemania.

cumpliendo con todas las etapas de un adecuado sistema de gestión (identificación, segregación, transporte, almacenamiento y disposición final).

Como conclusión principal se debe indicar que durante la gestión de materiales radiactivos es imprescindible el cumplimiento de la normativa internacional, esencialmente de las directrices de la OIEA. Esta normativa debe ser adaptada al quehacer universitario mediante procedimientos, manuales y reglamentos internos para que sea de conocimiento y aplicación del personal relacionado con la gestión de materiales radiactivos, tal y como lo hace el Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen.

Los datos obtenidos como resultado de la investigación realizada constituyen una herramienta de gran utilidad para generar y mejorar propuestas para el uso adecuado de materiales y residuos radiactivos

en centros universitarios, de manera que sirvan como base para otras entidades académicas e instituciones públicas y privadas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Isotopos y Protección Radiológica de la Universidad de Tübingen, Alemania, la Junta de Becas, la Universidad Nacional y la Agencia Académica de Intercambio Alemán (*German Deutscher Akademischer Austauschdienst*).

## Bibliografía

- Alexander, W. & McKinley, L.E. (2007). *Deep geological disposal of radioactive waste*. Amsterdam: Elsevier.
- Berlin, R. & Stanton, C. (1989). *Radioactive waste management*. New York: Wiley.

- Berlin, R. & Stanton, C. (1989). *Radioactive waste management*. New York: Wiley.
- Biedscheid, J, & Devarakonda, M. (2005). *Radioactive waste*. Reston, Va.,: American Society of Civil Engineers.
- Decreto Ejecutivo 24037-S. (1995). Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones. San José: *La Gaceta*.
- DSRL (Dirección del Servicio de Riesgos Laborales). (2009). *Procedimientos de protección radiológica de fuentes no encapsuladas utilizadas en la instalación radiactiva central de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid*. Universidad Complutense de Madrid.
- Estado de la Nación (2004). *Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Resumen del Undécimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José.
- Estado de la Nación (2007). *Plan Nacional de Residuos Sólidos de Costa Rica, Diagnóstico y Áreas Prioritarias*. San José.
- Greenberg, M. (2009). *The reporter's handbook on nuclear materials, energy, and waste management*. Vanderbilt University Press.
- McCutcheon, C. (2002). *Nuclear reactions: the politics of opening a radioactive waste disposal site*. University of New Mexico Press.
- McLintock, S. (1996). *The management of radioactive waste in laboratories*. Leeds, England: H and H Scientific Consultants.
- Mora, P. & Varela, A. (2006). *Manejo responsable de los desechos radioactivos en la Universidad de Costa Rica*. *Revista Ciencia y Tecnología* 24(1): 9-20.
- OECD (Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development) (2010). *Radioactive waste in perspective*. Paris.
- OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica). (2009). *Gestión de desechos procedentes de la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, agricultura, investigación y educación*. Colección de normas de seguridad del OIEA. Viena.
- OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica). (2003). *Predisposal Management of Low and Intermediate Level Radioactive Waste*. Colección de Normas de Seguridad del OIEA, Viena.
- Ringius, L. (2001). *Radioactive waste disposal at sea: public ideas, transnational policy entrepreneurs, and environmental regimes*. Cambridge, Massachusess, US: MIT Press.
- Schleien, B. (1992). *Nuclear Transportation Including Shipment of Low-Level Waste*. The Health Physics and Radiological Health Handbook. Revised Edition, Chapter 14. Silver Spring MD, US: Scinta, Inc.
- SEPR (Sociedad Española de Protección Radiológica). (2002). *Guía técnica de gestión de materiales residuales con contenido radiactivo en centros de investigación y docencia*. Madrid: Sociedad Española de Protección Radiológica.
- Simon, R. (2009). *Radioactive waste management and disposal*. Cambridge University Press.
- <http://www.uni-tuebingen.de/en/university.html>. Consultado en junio de 2013.
- University of Liverpool. (2008). *Management of radioactive waste within the University of Liverpool*. England: University of Liverpool.
- Vandenbosch, R & Vandenbosch, S. (2007). *Nuclear waste stalemate: political and scientific controversies*. University of Utah Press.
- [www.uni-tuebingen.de/isotopenlabor](http://www.uni-tuebingen.de/isotopenlabor) Consultado en junio de 2013.

# Determinación de material y condiciones de trabajo del Torno CNC en la operación de cilindrado

Determination of materials and cutting conditions in a CNC lathe turning operation

*Juan Bautista Hernández-Granados<sup>1</sup>  
Marcela Meneses-Guzmán<sup>2</sup>  
Federico Picado-Alvarado<sup>3</sup>*

*Fecha de recepción: 30 de julio del 2013  
Fecha de aprobación: 02 de diciembre del 2013*

Hernández-Granados, J; Meneses-Guzmán, M; Picado-Alvarado, F. Determinación de material y condiciones de trabajo del Torno CNC en la operación de cilindrado. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 32-39

- 1 Responsable del Laboratorio SIMTEC, Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Teléfono: (506)2550-9223. Correo electrónico: juhernandez@itcr.ac.cr
- 2 PhD, Profesora de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Teléfono: (506)2550-9211. Correo electrónico: mameneses@itcr.ac.cr
- 3 PhD, Profesor de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Teléfono: (506)2550-9217. Correo electrónico: fpicado@itcr.ac.cr



## Palabras clave

Predicción de rugosidad superficial; diseño de experimentos; técnica de superficie de respuesta.

## Resumen

Uno de los principales problemas del maquinado es alcanzar la calidad definida del producto bajo las condiciones de trabajo de que se disponga. La operación de cilindrado en el torno CNC del Laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura (SIMTEC) ha sido estudiada con diferentes condiciones de corte (avance, profundidad de corte) y tipo de material (aluminio 6061, acero 1020) para identificar la combinación y el nivel de factores que mejoran el acabado superficial de una pieza. Utilizando tres técnicas de diseño de experimentos (DOE), a saber, diseño factorial, regresión lineal múltiple y de superficie de respuesta (RSM), se identifica que los factores y niveles que reducen la rugosidad superficial son el, y el material aluminio. Se ha establecido un modelo de regresión de primer orden que puede ser utilizado junto con la gráfica RMS para predecir el valor de la rugosidad promedio.

## Key words

Surface roughness prediction; design of experiments; response surface methodology.

## Abstract

One of the main problems of machining can be described as the achievement of a predefined product quality with given working conditions. The turning operation on Sistemas Integrados de Manufactura (SIMTEC) Laboratory has been studied with different cutting conditions (*feed, depth of cut, rpm*) and material type (Aluminum 6061, Steel 1020) to identify the combination and level factors that improve the surface roughness in a work piece. Using three of Design of Experiments techniques (DOE), such as factorial design, multiple linear regression and response surface methodology (RSM) we identified the factors and levels that reduce the surface roughness and these are the *feed rate = 50 mm/min, rpm = 1200* and aluminum material. A first-order model has been established between the cutting parameters and surface roughness which can be used together with the RMS graph to predict an average roughness value.

---

## Introducción

En manufactura, a la remoción de material y la modificación de la superficie de una pieza de trabajo se le llama operación de maquinado o mecanizado. Esta operación se lleva a cabo con un sistema compuesto de la pieza de trabajo, la herramienta de corte, la máquina herramienta y el operador. En general, los parámetros que influyen en el proceso de corte (variables independientes) son el material y las condiciones de la pieza de trabajo, el filo y el material de la herramienta, las características funcionales de la máquina herramienta, el avance, la velocidad y profundidad del corte, el fluido de corte y las sujeciones de la pieza de trabajo. Entre las variables dependientes se encuentran el tipo de viruta producida, la energía disipada durante el corte, la elevación de la temperatura en la pieza de trabajo, el desgaste y falla de la herramienta y el acabado superficial de la pieza de trabajo (Kalpakjian y Schmid, 2008).

Uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad del producto mecanizado es la rugosidad superficial de la pieza elaborada. La rugosidad se refiere a las desviaciones con respecto a la propia superficie ondulada, causada por la geometría de la herramienta de corte y sus condiciones de desgaste, las condiciones de mecanizado, la microestructura de la pieza de trabajo y las vibraciones en el sistema, entre otros factores (ASM, 1992). En consecuencia, la variable rugosidad depende de los parámetros de la máquina, las propiedades de la herramienta de corte, las propiedades de la pieza que se va a mecanizar y los fenómenos de corte (Benardos y Vosniakos, 2003, Kalpakjian y Schmid, 2008). Al maquinar una pieza, el operador busca alcanzar el objetivo de acabado definido con el mínimo costo y tiempo de elaboración y con las condiciones de trabajo disponibles.

Debido a la complejidad de los fenómenos que componen el proceso de corte, los investigadores

han propuesto diferentes estrategias para predecir la rugosidad superficial. Benardos y Vosniakos (2003) presentan una revisión de la literatura sobre los diferentes enfoques desarrollados para la predicción de la rugosidad superficial, mientras que Yusup y otros (2012), Mukherjee y Ray (2006) presentan una revisión sobre herramientas de optimización de parámetros.

Refiriéndonos al enfoque para la predicción de la rugosidad, los parámetros o factores de mecanizado que influyen sobre la rugosidad superficial son los procesos cinemáticos, el fluido de enfriamiento, la profundidad de corte, la velocidad de corte y de avance o alimentación y el ángulo de corte (Benardos y Vosniakos, 2003). Los manuales de máquinas-herramientas recomiendan parámetros de mecanizado específicos, pero estos no necesariamente satisfacen la necesidad de mecanizado económico y sus recomendaciones están hechas para un cierto tipo de máquina y bajo condiciones muy específicas que no necesariamente se tienen a disposición en nuestros laboratorios. También la selección de niveles de cada factor se hace tomando como referencia el juicio y la experiencia del operador, pero la realidad es que son muchos los elementos involucrados en este tipo de procesos y no es tan fácil conocer el efecto del ajuste de los niveles de cada uno de los factores sobre la variable respuesta y sobre el resto de los parámetros.

Mukherjee y Ray (2006) presentan una clasificación de modelos y técnicas de optimización para procesos de corte de metal. Entre las técnicas de optimización convencionales se encuentra el DOE, que combina el diseño factorial, el análisis de regresión y la metodología de superficie de respuesta para identificar la combinación de factores y niveles que incrementan el rendimiento de la variable respuesta.

Por otra parte, las investigaciones sobre optimización de parámetros de maquinado se pueden clasificar según sean para técnicas convencionales (torneado, fresado, taladrado o rectificado, entre otras) o procesos más modernos de maquinado, como maquinado por descarga eléctrica (EDM) o corte waterjet (AWJ) (Aggarwal y Singh, 2005, Mukherjee y Ray, 2006, Bharathi Raja y Baskar, 2011, Yusup Mohd Zain y Za, 2012, Benardos y Vosniakos, 2003).

El objetivo de este trabajo es identificar el material y las condiciones de mecanizado para realizar la operación de cilindrado con el torno CNC del

Laboratorio SIMTEC que asegure un mejor acabado superficial de la pieza que se elabora. Se utilizará el enfoque DOE para la minimización de la rugosidad superficial. Los beneficios de este experimento están relacionados con la identificación del material de referencia adecuado para la realización de los experimentos con objetivos académicos y la identificación de los parámetros del proceso que permitan obtener la mejor calidad superficial en la operación de cilindrado. Se ha incrementado además el conocimiento general del proceso de torneado mediante esta máquina herramienta en el laboratorio.

### Equipo, materiales y método

El torneado es un proceso que permite mecanizar piezas de forma geométrica en revolución. Considerando la operación de cilindrado de la figura 1, la herramienta de corte se ajusta a la profundidad  $p$  (que define la cantidad de material por remover) para desplazarse con velocidad  $v_c$  (velocidad periférica de corte de un punto de contacto de la pieza con la herramienta) mientras la pieza gira. El avance o velocidad de avance  $f$  es la distancia que la herramienta se desplaza horizontalmente por cada revolución de la pieza ( $rpm$ ).

El diseño de experimentos es un método estadístico que ayuda a establecer qué variables son importantes en un proceso y las condiciones en que deben trabajar para optimizar el proceso (Montgomery, 2002). El DOE tiene muchas aplicaciones en el área de la ingeniería (Carlyle et al., 2000, Ilzarb et al., 2008)

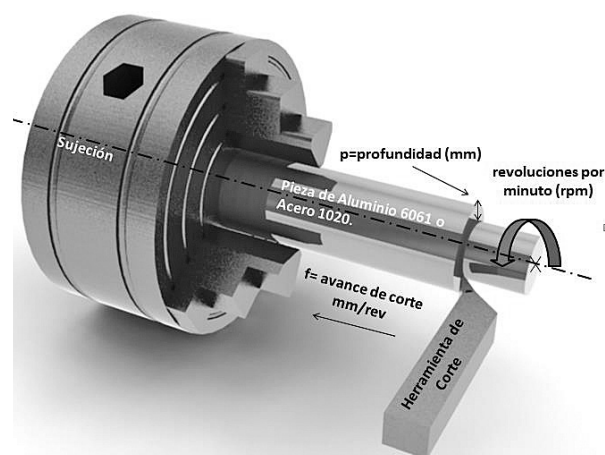


Figura 1. Variables en una operación de cilindrado.

y en específico en la caracterización de técnicas de maquinado (Benardos y Vosniakos, 2003, Aggarwal y Singh, 2005, Mukherjee y Ray 2006). Parte de nuestro objetivo es conocer qué tipo de efecto tienen el material, la profundidad de pasada, las revoluciones por minuto y el avance de corte sobre la rugosidad superficial en la elaboración de operaciones de cilindrado con un torno CNC específico y de acuerdo a las condiciones de trabajo. La pregunta que nos hacemos es ¿existe una elección de estas variables que permita obtener un mejor acabado?

En un estudio con diseño experimental se permite modelar simultáneamente la media del fenómeno estudiado, su variabilidad y observaciones correlacionadas. Las observaciones pueden escribirse mediante el modelo estadístico general:

$$y_{ijkz} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \omega_z + (\tau\beta)_{ij} + \dots + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \dots + (\tau\beta\gamma\omega)_{ijkz} + \varepsilon_{ijkz} \quad (1)$$

con  $i = 1, 2, \dots, a$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $z = 1, 2, \dots, m$ , con  $a, b, n$  y  $m$  el número de niveles de cada factor o variable independiente, y  $\varepsilon$  es el término de residuos donde  $\varepsilon_{ijkz} \sim N(\mu, \sigma^2)$ . El efecto medio general de los factores está señalado con  $\mu$  y los términos  $\tau_i, \beta_j, \gamma_k, \omega_z$  son los efectos específicos de cada factor sobre la respuesta. Las interacciones entre las cuatro variables pueden ser términos dobles, triples y/o cuádruples. El interés ahora consiste en probar las hipótesis de la igualdad de los efectos de cada factor en todos sus niveles y determinar si los factores en cada nivel interaccionan.

### Materiales y métodos

Para los cortes de cilindrado exterior se utilizó un torno CNC marca ACRA, modelo FEL-1440 con control en dos ejes, capacidad de 890 mm entre centros, rango de velocidad es de 25 a 3000 (rpm), con carrera en su eje Z de 865 mm y en su eje X de 205 mm. La torreta utilizada es una estándar manual de cuatro posiciones. El motor del torno es de corriente alterna de 5.5 kW (7.5HP). La herramienta de corte marca Iscar modelo VNMG 2.5-1-NF es triangular negativo para torneado con dos caras rómbicas de 35 grados; estos insertos son para aplicaciones de semiacabado y acabado con fuerzas de corte bajas debido al borde muy afilado y el desprendimiento de viruta. Se utilizaron 16 cuchillas idénticas para elaborar las 48 piezas, cada 3 piezas se cambió la cuchilla.

Se adquirieron 24 piezas de aluminio 6061 y 24 de acero 1020 cuyo diámetro era de 19,05 mm (barra calibrada) y largo variable mayor a 76 mm. Para estandarizar las piezas, estas fueron refrentadas en un torno manual marca JET hasta alcanzar una dimensión de  $(76 \pm 1)$  mm. Se limaron los bordes de las piezas para eliminar rebabas de material y evitar falsas mediciones. Para la operación de cilindrado en el torno CNC, se definió un procedimiento para el montaje de cada pieza a fin de asegurar que en cada maquinado se posicionara la pieza en el mismo punto de partida (figura 2).

Se ha diseñado un experimento factorial de cuatro niveles, las variables independientes son el avance ( $f$ ), la profundidad de corte ( $p$ ), los rpm y el tipo de material; la variable respuesta es el acabado superficial a través de la rugosidad. Se eligen dos niveles para cada factor, uno alto y otro bajo, escogidos con base en la experiencia, porque no se han establecido valores exactos para cada variable (cuadro 1).

Se hace uso de fluido de corte en todas las corridas para reducir la fricción y el desgaste y evitar el



Figura 2. Montaje de la pieza por maquinar en el torno CNC.

Cuadro 1. Factores y niveles del experimento.

Factores	Profundidad (mm)	Material (m)	rpm	Avance (f) (mm/min)
niveles	2	aluminio	900	50
	4	acero	1200	80

detrimento del acabado superficial. El experimento se lleva a cabo a temperatura constante y utilizando las mismas condiciones para todas las medidas en la herramienta de corte.

Las mediciones para la rugosidad superficial se realizaron con un rugosímetro marca NuLine, modelo TR100. Se estableció un procedimiento estandarizado para la fijación y medición de cada pieza utilizando un sistema de sujeción con un tope (figura 3) sobre una mesa plana.

El rugosímetro mide la rugosidad promedio  $Ra$  del valor absoluto de las desviaciones verticales respecto de la superficie nominal. Las mediciones son en micrómetros.

## Resultados y discusión

Se utiliza el software MINITAB 16 para el análisis estadístico del experimento. De acuerdo a los 4 factores se realizó un experimento  $2^4$  con 3 réplicas para un total de 48 corridas. Se ejecuta el experimento según los resultados de la aleatorización. Cada pieza se identificó con un número en la parte inferior y se marcó según la combinación de los factores. El experimento se hizo en dos días; al ejecutarlo en un torno CNC y realizar un ajuste previo, no se pierden los parámetros al reiniciar la máquina al día siguiente.



Figura 3. Fijación de la pieza y medición con rugosímetro.

Se estableció un error del primer tipo de  $\alpha^* = (1 - (1 - \alpha)^n)$ , donde  $n$  es el número de pruebas que se ejecutan y  $\alpha$  es la tasa de falsa alarma nominal total igual 0,05. El resultado es un modelo reducido en el cual la profundidad no se considera significativa y existe una interacción entre las  $rpm$  y el avance ( $f$ ) (cuadro 4).

El modelo resultante con los valores de los coeficientes de regresión es el siguiente:

$$Y = 1,2975 + 0,0971 m - 0,1171 rpm + 0,1237 f - 0,0950 rpm * f \quad (2)$$

De la figura 4(a) se observa que el material que genera mejor acabado es el aluminio, la profundidad de pasada no es significativa y 4(b) recomienda utilizar avance a 50 mm/min y 1200 rpm.

El valor de la menor rugosidad obtenida en el experimento es de 0,72  $\mu m$ , generada con las condiciones de avance de 50 mm/min, rpm = 1200, y material aluminio. La profundidad, aunque no señalada como significativa con las condiciones de este experimento, fue de 2 mm. De acuerdo con la norma ISO 1302, el valor de 0,72 corresponde a un acabado fino porque los límites de esta clasificación son de 0,025  $\mu m$  a 1  $\mu m$ . Por esta razón se ha establecido como límite inferior y superior para la optimización de la respuesta una rugosidad mínima de 0,72  $\mu m$  y máxima de 1  $\mu m$ . La optimización de respuestas identifica la combinación de valores de variables de entrada que en conjunto optimizan la rugosidad. La optimización conjunta debe satisfacer los requisitos de todas las respuestas del conjunto y esto se mide a través de la deseabilidad compuesta (d). El resultado de este método se expone en la figura 5.

El resultado de optimización de la rugosidad es de 1,0546  $\mu m$ , lo que se sale de los límites establecidos y el valor de deseabilidad compuesta es de 0. Esto indica que la configuración de los niveles de los factores considerada no alcanza los resultados favorables de rugosidad. Se debe continuar con otras pruebas experimentales que analicen no solo otros niveles de factores sino que incluyan también otras variables que no se tomaron en cuenta en este experimento.

La figura 6 muestra un gráfico de contorno con los factores significativos y se indica como ejemplo un punto específico de la variable respuesta, en donde utilizando un avance de 54,9387 y rpm de 1183,53

Cuadro 4: Resultados del análisis de varianza para rugosidad.

Efectos y coeficientes estimados para rugosidad (unidades codificadas)					
Término	Efecto	Coef	SE	CoefT	P
Constante	1,2975	0,03563	36,42	0,000	
Material	0,1942	0,0971	0,03563	2,72	0,009
RPM	-0,2342	-0,1171	0,03563	-3,29	0,002
Avance	0,2475	0,1237	0,03563	3,47	0,001
RPM*Avance	-0,1900	-0,0950	0,03563	-2,67	0,011

S = 0,246841 PRESS = 3,26474  
R-cuad. = 46,52% R-cuad.(pred.) = 33,36% R-cuad.(ajustado) = 41,54%

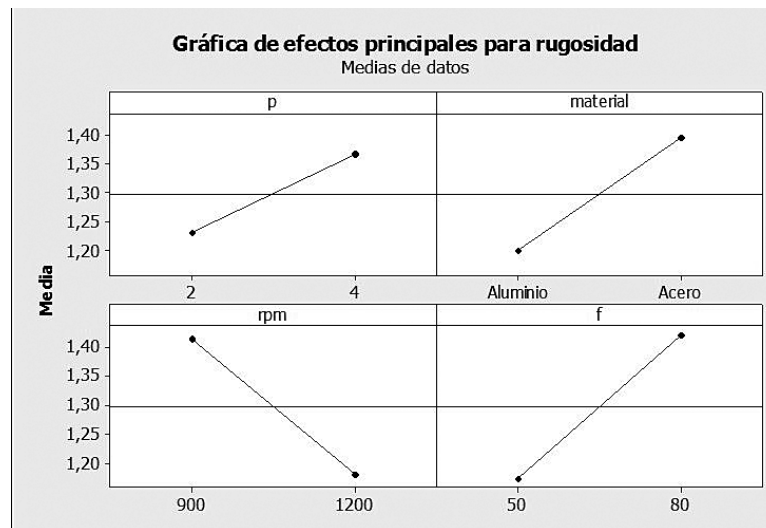


Figura 4. Análisis de efectos principales y de interrelación.

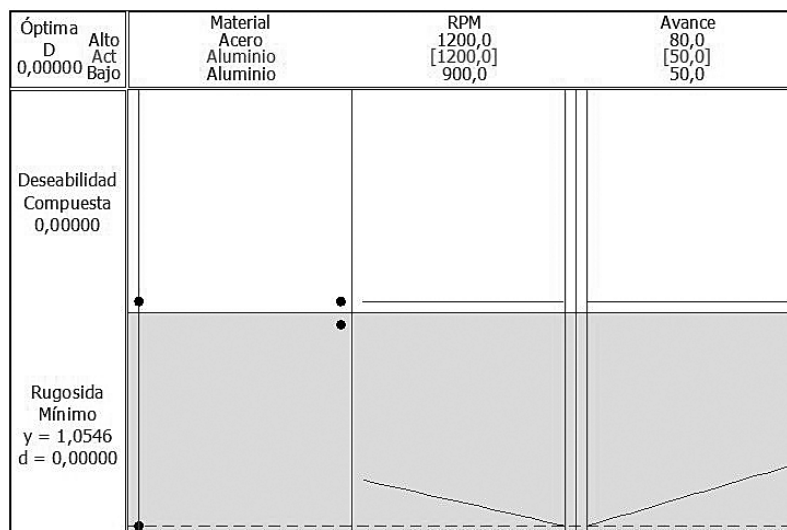


Figura 5. Optimización de la variable de respuesta.

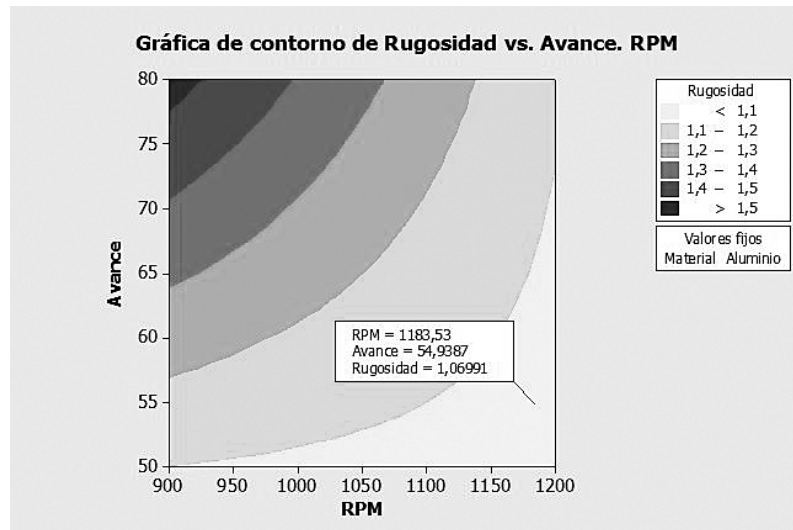


Figura 6: Gráfico de contorno de Rugosidad vrs avance y rpm

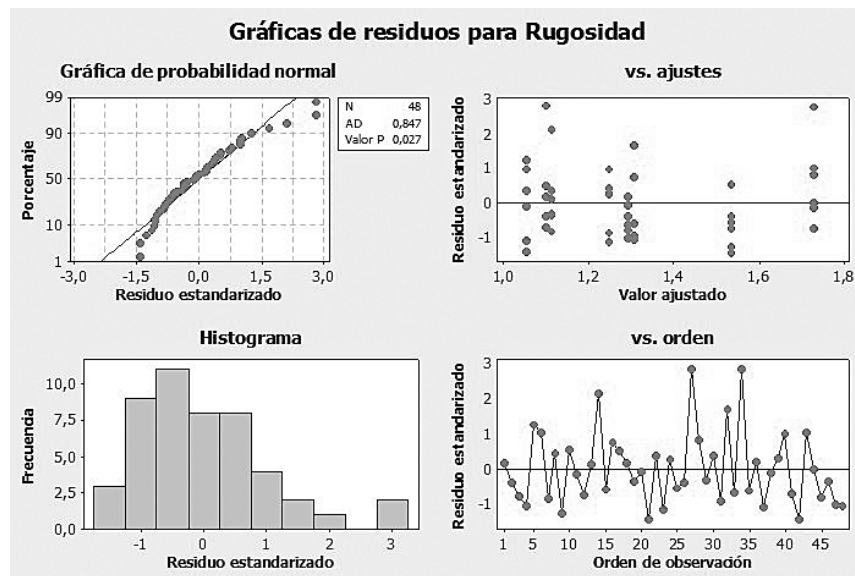


Figura 7. Análisis de residuos del modelo.

en la elaboración con aluminio, se prevé una *rugosidad* de 1,06991. El gráfico de contorno entonces muestra las zonas donde se podría minimizar la variable de respuesta. Con base en estos resultados, se recomienda realizar pruebas confirmatorias para corroborar las conclusiones experimentales.

La figura 7 muestra el resumen del análisis de los residuos. Los residuos no pasan la prueba de normalidad con Anderson Darling (*Valor P* < 0,05), que se fundamenta en los valores extremos en las colas de la distribución. Sin embargo, si se utiliza la prueba

Kolmogorov Smirnov, la hipótesis de normalidad es aceptada (*Valor P* > 0,15). Los residuos son independientes y las varianzas son homogéneas.

### Conclusiones

Se estudió la rugosidad superficial en la operación de cilindrado con el torno CNC del Laboratorio SIMTEC con diferentes condiciones de corte (avance, profundidad de corte, *rpm*) y tipo de material (aluminio 6061, acero 1020) utilizando un diseño

factorial 2<sup>4</sup>. Las conclusiones de este experimento obtenidas bajo las condiciones especificadas son:

- Los factores significativamente influyentes en la determinación de la rugosidad superficial son el tipo de *material*, el *avance* y las *rpm*.
- Se obtuvo un modelo de regresión de primer orden que puede ser utilizado para estimar el valor de la rugosidad promedio con un margen de confiabilidad del 41,54%. Se cumplen los supuestos del modelo estadístico.
- Utilizando el optimizador basado en la función de deseabilidad para minimizar la rugosidad, se obtiene que se logra reducir la variable de respuesta cuando el material es aluminio,  $rpm = 1200$  y  $avance = 50$ .
- Se debe continuar con la experimentación secuencial e iterativa para ir acercándose al óptimo de la variable de respuesta.

Se recomienda realizar pruebas confirmatorias para corroborar las conclusiones experimentales y realizar estudios teniendo en cuenta otros factores, como por ejemplo, la temperatura y el desgaste de la herramienta, la fuerza y ángulo de corte y el uso de diferentes tipos de lubricante.

Los resultados orientan al operador en cuanto a la identificación del material de referencia adecuado para realizar experimentos con objetivos académicos e identificar los parámetros del proceso que permitan predecir la mejor calidad superficial en la operación de cilindrado.

## Bibliografía

- Aggarwal, A. & Singh, H. (2005). Optimization of machining techniques. A retrospective and literature review. *Sadhana* 30: 699-711.
- ASM Handbook, Friction, Lubrication and wear technology, 18, ASM International 1992, pp. 334-335.
- Benardos, P. & Vosniakos, G.C. (2003). Predicting surface roughness in machining: a review. *International Journal of Machining Tools & Manufacture* 43: 833-844.
- Bharathi Raja, S. & Baskar, N. (2011). Particle swarm optimization technique for determining optimal machining parameters of different work piece materials in turning operation. *Int J Adv Manuf Technol* 54: 445-463.
- Carlyle, W., Montgomery, D. & Runger, G. (2000). Optimization problems and methods in quality control and improvement. *Journal of Quality Technology* 32(1): 1-31.
- Illarbe, L., Alvarez, M., Viales, E. & Tanco, M. (2008). Practical Applications of Design of Experiments in the Field of Engineering: a bibliographical review. *Quality and Reliability Engineering International* 24: 417-428.
- ISO 1302:2002. Indicación de calidad superficial en la documentación técnica de productos.
- Kalpakjian, S. & Schmid, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Ed. Pearson.
- Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley.
- Mukherjee, I. & Ray, P. (2006). A review of optimization techniques in metal cutting process. *Computers & Industrial Engineering* 15-34.
- Yusup, N., Mohd Zain, A. & Za, S. (2012). Evolutionary techniques in optimizing machining parameters: Review and recent applications (2007-2011). *Expert Systems with Applications* 39.

# Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada

Degradation and decoloration of contaminated water with textile dyes using advanced oxidation processes

Laura Castro-Peña<sup>1</sup>  
J. Esteban Durán-Herrera<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 5 de junio del 2013  
Fecha de aprobación: 23 de noviembre del 2013

Castro-Peña, L.; Durán-Herrera, J.  
Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 40-50

1 Ingeniera Química. Consultora independiente. Costa Rica. Correo electrónico: lauracastro.24@gmail.com.

2 Doctor en Ingeniería Química, Profesor Catedrático, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: esteban.duranherrera@ucr.ac.cr.



## Palabras clave

Procesos de oxidación avanzada; tintes textiles; aguas residuales; Taguchi; proceso Foto-Fenton.

## Resumen

En la presente investigación se estudió la efectividad de los procesos de oxidación avanzada  $H_2O_2/UV$  y  $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$  en la degradación y decoloración de agua contaminada con colorante textil COLRON RED SD3B, a manera de contaminante modelo. Para ello se analizó el efecto de la concentración inicial del colorante, el pH de la solución, la concentración de hierro y la concentración de peróxido de hidrógeno mediante un diseño estadístico de experimentos de Taguchi. Del estudio se concluyó que el proceso Foto-Fenton ( $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ ) genera resultados más favorables en la degradación y decoloración del tinte, en las siguientes condiciones de operación: pH= 2, concentraciones de colorante de 100 ppm, de hierro de 80 ppm y de peróxido de hidrógeno de 102 ppm (3,0 mmol/L). Bajo estas condiciones se obtuvieron porcentajes de reducción promedio de 65,5% en la DQO y de 77,0% en la decoloración del tinte luego de una hora de tratamiento.

## Keywords

Advanced oxidation processes; textile dye; wastewater; Taguchi; photo-Fenton process.

## Abstract

The degradation and decolorization of azo dye COLRON RED SD3B as model pollutant by  $H_2O_2/UV$  and  $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$  processes were investigated. The effects of dye concentration, solution pH, and  $Fe^{2+}$  and  $H_2O_2$  dosages were studied using Taguchi's experimental design method. Photo-Fenton process showed to be more efficient than  $H_2O_2/UV$  process for the color removal and degradation of the dye. The conditions that produced higher degradations rates were pH=2, dye concentration of 100 ppm, ferrous dosage of 80 ppm and hydrogen peroxide dosage of 102 ppm (3.0 mmol/L). Under these conditions, 65.5 % COD reduction and 77.0 % decolorization of the azo dye wastewater were achieved after one hour of treatment.

---

## Introducción

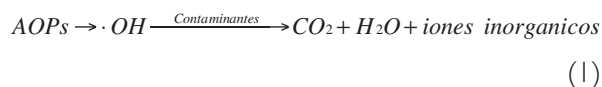
El proceso de elaboración de productos textiles consiste en un gran número de operaciones unitarias que utilizan diversas materias primas como algodón, lana, fibras sintéticas y tintes o colorantes. En la etapa del proceso conocida como de "tintorería y acabados" se generan efluentes líquidos que contienen contaminantes de muy diversa naturaleza, entre ellos sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tensoactivos, enzimas, surfactantes, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura (Gutarra et al., 2001). Una fracción importante de estos contaminantes son los residuos de colorantes textiles. Estos compuestos químicos son poco biodegradables, por lo que presentan gran persistencia en el medio ambiente y los métodos de tratamiento biológicos clásicos no son eficientes en su remoción. Además, la fuerte coloración que

imparte a cuerpos de descarga puede llegar a suprimir los procesos fotosintéticos en corrientes de agua, por lo que su presencia debe ser controlada (Marcano, 1990).

Por otro lado, la cada vez más exigente reglamentación en materia de vertidos para su incorporación a las redes de saneamiento o su descarga directa al entorno, obliga a este sector industrial a adecuar la calidad de sus efluentes mediante la implantación de métodos de tratamiento adecuados. La puesta en marcha de procesos de depuración innovadores, eficaces y fiables, acompañados de una creciente política de reciclado de aguas, es una solución que atrae un creciente interés.

En este sentido, el tratamiento mediante Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs, siglas en inglés de *Advanced Oxidation Processes*) de aguas contami-

nadas con productos orgánicos tóxicos y/o difícilmente biodegradables se perfila como un método adecuado y con grandes posibilidades de desarrollo a corto plazo. Los AOPs consisten en una oxidación química en condiciones de presión y temperatura ambiente, con la cual se puede llegar hasta la mineralización completa de los contaminantes (Kim y Vogelpohl, 2004). Lo anterior viene representado en la siguiente reacción:



El agente oxidante es un radical denominado hidroxilo ( $\cdot OH$ ), el cual posee una elevadísima capacidad oxidante, es no selectivo y presenta tiempos de reacción muy cortos (Almecija et al., 2010). La versatilidad de los AOPs se debe al hecho de que existen diferentes formas de producir los radicales hidroxilo y puede escogerse cual utilizar, dependiendo de los requerimientos específicos de cada agua residual. Entre los métodos más desarrollados e investigados a la fecha están el método de peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta ( $H_2O_2/UV$ ) y el método conocido como Foto-Fenton ( $H_2O_2/UV/Fe^{2+}$ ) (López, 2001).

El método  $H_2O_2/UV$  implica la formación de radicales hidroxilo mediante la fotólisis del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) por la acción de la radiación ultravioleta según la siguiente reacción:



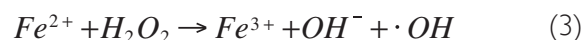
Las longitudes de onda UV en el rango de 200-280 nm conducen a la disociación del peróxido de hidrógeno, siendo las lámparas de mercurio con emisión de 254 nm las más utilizadas (Aleboye et al., 2003).

Con relación a la efectividad del proceso  $H_2O_2/UV$ , diversos investigadores (Amer et al., 2008; Caronna et al., 1999; Kalt y Galindo, 1999) han llegado a la conclusión de que las variables que producen un efecto significativo en el proceso de decoloración y degradación de materia orgánica en el vertido residual de una planta textil son: la concentración de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el pH, la concentración inicial de colorante y la intensidad de la radiación ultravioleta. Kalt y Galindo (1999) documentaron que el proceso  $H_2O_2/UV$  es más efectivo en un medio ácido (pH= 3-4) en términos de la

degradación del color. El hecho de que la eliminación del color en un medio alcalino no sea eficiente se debe a que el peróxido de hidrógeno sufre una descomposición en la cual se forma oxígeno molecular y agua, en lugar de producir radicales hidroxilo; esto hace que la concentración de radicales  $OH^{\cdot}$  sea menor a la esperada.

La eficiencia de la decoloración aumenta al incrementarse la dosis de peróxido de hidrógeno hasta un punto en el que alcanza un valor máximo y luego empieza a disminuir. Por ejemplo, en un estudio realizado por Amer et al. (2008) utilizando el método  $H_2O_2/UV$  para el tratamiento de agua residual textil, se determinó que valor máximo de porcentaje de decoloración obtenido fue de 90,69% con una concentración de 3,9% m/m de  $H_2O_2$ , mientras que por encima de esta dosis (4,8% m/m) este porcentaje se redujo a un 82,3%. Este comportamiento se debe a que cuando existe una concentración alta de  $H_2O_2$ , ésta va a actuar como un secuestrador de radicales  $OH^{\cdot}$  mientras que a bajas concentraciones de  $H_2O_2$  no va a generar los suficientes radicales hidroxilo, que van a ser consumidos por el colorante y consecuentemente baja la tasa de reacción de oxidación (Al-Kdasi et al., 2004).

Hace más de un siglo, H. J. Fenton describió el poder de oxidación del peróxido de hidrógeno en ciertas moléculas orgánicas, bajo la adición de Fe (II) como catalizador (Domènech et al., 2002). Más tarde, se descubrió que esto se debe a la generación de radicales hidroxilo, la cual obedece a la siguiente reacción:



Debido a la simplicidad de la reacción anterior, la reacción de Fenton es el proceso que más se utiliza cuando es necesaria la remoción de compuestos recalcitrantes. Sin embargo, el mayor inconveniente de la reacción de Fenton es la producción de residuos de lodos de hierro. Esto llevó a que se desarrollara el proceso de Foto-Fenton ( $H_2O_2/UV/Fe^{2+}$ ), el cual utiliza radiación ultravioleta para la reducción del ion Fe (III) a Fe(II), resultando en una drástica reducción de los lodos residuales (Chiu et al., 2007; Vogelpohl, 2007).

Las condiciones de operación en las que se lleva a cabo el proceso Foto-Fenton (pH, la concentración de peróxido de hidrógeno, la temperatura

y la concentración de aniones inorgánicos), así como la composición del agua residual, afectan sustancialmente la eficacia y velocidad de este proceso de oxidación. En el sistema Foto-Fenton, la velocidad de las reacciones tiende a ser máxima en un pH cercano a 2.8. (Mackay et al., 2006); el valor óptimo se encuentra entre 2,5 y 2,8, donde el Fe(III) existe en solución mayoritariamente como  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}(\text{H}_2\text{O})_5$ . A pH altos, la velocidad disminuye debido a la precipitación de hierro en forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . La dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$  influye fundamentalmente sobre la eficacia del proceso, mientras que la concentración de hierro afecta la cinética (Baeyens y Neyens, 2003). Tanto la eficacia como la velocidad de reacción tienden a aumentar con la concentración de reactivos. Sin embargo, un exceso de hierro da lugar a una disminución de la eficacia debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como es el caso de la formación de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  que puede precipitar; por lo que se ha de tener en cuenta la  $K_{ps}$  de esta especie para evitar este problema. Por otro lado, un exceso de peróxido daría lugar a la degradación de este por los radicales hidroxilos, que es una reacción no deseada (Mackay et al., 2006; Domènech et al., 2002).

Diversos investigadores han explorado la eficacia del proceso Foto-Fenton para la degradación de colorantes textiles. Por ejemplo, Khandelwal y Ameta (2013) investigaron la degradación del colorante Basic Yellow 2 utilizando luz visible, obteniendo degradaciones del 100%. Wu et al. (1999) estudiaron la fotodegradación del colorante Malachite Green en presencia de iones  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ , y compararon la efectividad con respecto a la reacción sin luz. Los resultados demostraron el mejor rendimiento del proceso fotoquímico. La mayoría de las investigaciones se han desarrollado a nivel de reactores batch piloto; muy poca atención se le ha dado a la escala de reactores a nivel industrial en la aplicación de la decoloración de agua residual coloreada. No fue sino hasta la última década que varias investigaciones han reportado el éxito en las aplicaciones de fotoreactores que utilizan el método de oxidación avanzado  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  para el tratamiento de aguas residuales coloreadas (Chang et al., 2005).

En esta investigación se estudió la efectividad de los procesos de oxidación avanzada  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  y  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  en la decoloración y degradación de agua contaminada con el colorante textil COLRON RED

SD3B, sistema que se utilizó como un agua residual textil modelo. El objetivo principal fue comparar ambas tecnologías y encontrar las condiciones de operación que generaban las mejores eficiencias de degradación del colorante. Para ello se analizó el efecto de la concentración inicial de colorante, el pH de la solución, la concentración de hierro y la concentración de peróxido de hidrógeno sobre la efectividad de los dos AOPs, empleando un diseño estadístico de experimentos de Taguchi. Este diseño experimental permitió encontrar condiciones de operación adecuadas para llevar a cabo la descontaminación del agua.

### Metodología, equipo experimental y materiales

Todas las pruebas de decoloración y mineralización del colorante COLRON RED SD38 se llevaron a cabo en el sistema mostrado en la figura 1. La solución a ser irradiada se alimentaba desde un reservorio de 2,0 L mediante una bomba peristáltica a un flujo continuo de 18,5 mL/s. Esta disposición permitiría tener permanentemente 0,81 L de solución en el fotoreactor anular. El fotoreactor (MiniPure MIN-1.5, Atlantic Ultraviolet) comprende una estructura de acero inoxidable (39,05 cm largo, 6,35 cm ancho, 7,62 cm alto), el cual presenta una distancia de 26 cm aproximadamente entre la entrada y la salida de la solución. En el centro del fotoreactor a lo largo del eje horizontal se encuentra una lámpara ultravioleta de mercurio de baja presión (14 Watts, UV-C,  $\lambda_{\text{max}} = 254 \text{ nm}$ ), dicha lámpara está protegida por un tubo de cuarzo. Se utilizó un condensador como intercambiador de calor a la salida del reactor para poder mantener la temperatura constante de la solución, este parámetro se controlaba con un termómetro previamente colocado en el reservorio.

El tiempo para cada corrida se fijó en una hora, en intervalos de diez minutos se tomaba del reservorio una alícuota de 25 mL de la disolución de colorante para realizarle los análisis pertinentes. La concentración de colorante se determinó espectrofotométricamente a 525 nm. La medición de la Demanda Química de Oxígeno se basó en el método estándar establecido por USEPA (Método 410.4). Para ellos se utilizó un colorímetro marca HACH y un kit de viales del rango de 0 a 150 mg/L de la marca CHEMETRICS. Para medir la concentración

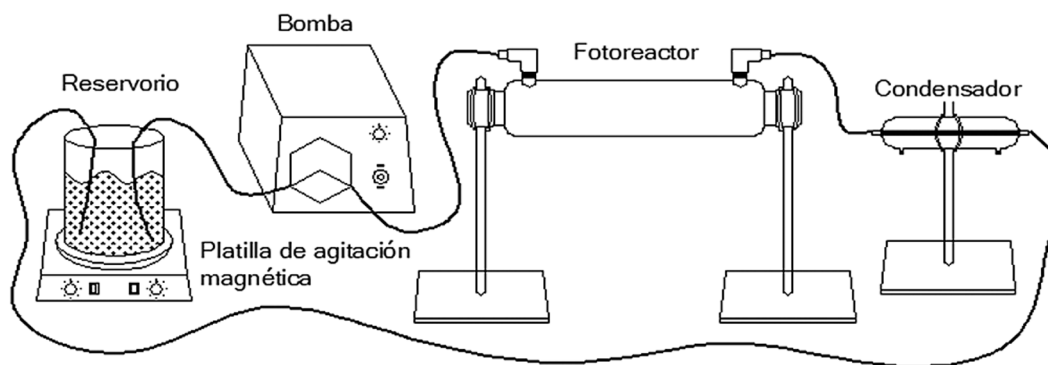


Figura 1. Representación esquemática de la configuración del equipo experimental.

del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en cada muestra, se utilizó un método espectrofotométrico a una longitud de 351 nm, haciendo reaccionar la muestra con disoluciones de ftalato hidrógeno de potasio (KHP) y yoduro de potasio (KI).

El colorante que se empleó en esta investigación fue el COLRON RED SD3B, cuyo componente reactivo es el C.I. Reactive Red 191 (ver estructura química en la figura 2). Se trabajó con peróxido de hidrógeno al 30% peso/peso y con sulfato de hierro heptahidratado. El pH de la solución fue ajustado utilizando ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH).

Para el análisis estadístico de los resultados se empleó la metodología de Taguchi. En este caso se analizaron cuatro factores a tres niveles cada uno, por lo que se usó un arreglo ortogonal  $L_9$ , que consiste en realizar nueve experimentos para estudiar el efecto de los factores en la degradación y mineralización del colorante. Cada experimento se repitió dos veces con el propósito de cuantificar los errores experimentales. Los cuatro factores analizados fueron: la concentración de colorante, el pH, la concentración de hierro y la concentración de peróxido de

hidrógeno ( $H_2O_2$ ) según los niveles mostrados en el cuadro 1. La metodología de Taguchi indicó cuáles son los niveles de los factores de estudio donde se alcanza un mayor grado de degradación y decoloración del tinte, analizados a través de las variables respuesta: porcentaje de degradación de DQO, porcentaje de decoloración, constante cinética de la reacción de oxidación y relación de gramos de DQO removido por costo de reactivos utilizados.

Para analizar los resultados, el método de Taguchi emplea una medida estadística llamada señal de ruido ( $S/N$ ); esta función permite establecer más fácilmente la combinación óptima de parámetros. El

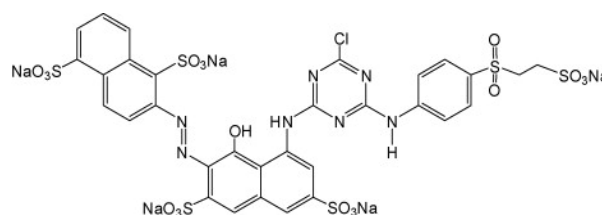


Figura 2. Estructura química del C.I. Reactive Red 191.

Cuadro 1. Factores y niveles establecidos en la fase experimental de la investigación.

Nivel	Factores			
	A Conc. colorante (ppm)	B pH	C Conc. Fe(II) (ppm)	D Conc. $H_2O_2$ (mmol/L)
1	100	2,0	0	0,3
2	75	4,0	40	1,5
3	50	6,0	80	3,5

cálculo de la señal de ruido es diferente de acuerdo al tipo de característica que se quiera medir. En este caso, las características mayores son mejores, por lo que  $S/N$  se define como:

$$S/N = -10\log((1/n)(\sum(1/y^2))) \quad (4)$$

donde  $n$  es el número de datos y  $y$  es el valor de cada dato recolectado (Roy, 1990).

### Resultados y discusión

En la figura 3 se observa el efecto de los factores de estudio sobre el porcentaje de degradación del parámetro DQO. Los resultados indican que un incremento en la concentración del colorante disminuye su nivel de degradación. Este resultado es común en los procesos Foto-Fenton y se puede explicar debido a que un incremento en la concentración del tinte puede inducir a un aumento en la densidad óptica interna, es decir, a mayor número de partículas de tinte, la solución se vuelve cada vez más impermeable a la radiación ultravioleta. Por lo tanto, el peróxido de hidrógeno solo va a ser irra-

diado por una pequeña porción de luz UV, lo cual hace que la formación de los radicales hidroxilos sea menor y la degradación de la materia orgánica disminuya (Aleboye et al., 2005).

Con respecto a las condiciones de pH estudiadas, los valores de porcentaje de degradación de DQO más altos ocurren a un pH de 2. Esto se debe a que el pH controla la producción de radicales hidroxilo libres y la concentración de iones hierro en disolución. Por lo tanto, es un importante parámetro para los procesos Foto-Fenton y  $H_2O_2/UV$ . Lo anterior se fundamenta con las reacciones que se dan durante el proceso:



Como se indica en la reacción (5), la cantidad de  $OH\cdot$  que se forma a través del proceso Fenton es afectada por el pH, la formación de  $OH\cdot$  se pueda dar más fácilmente bajo condiciones ácidas. Por el

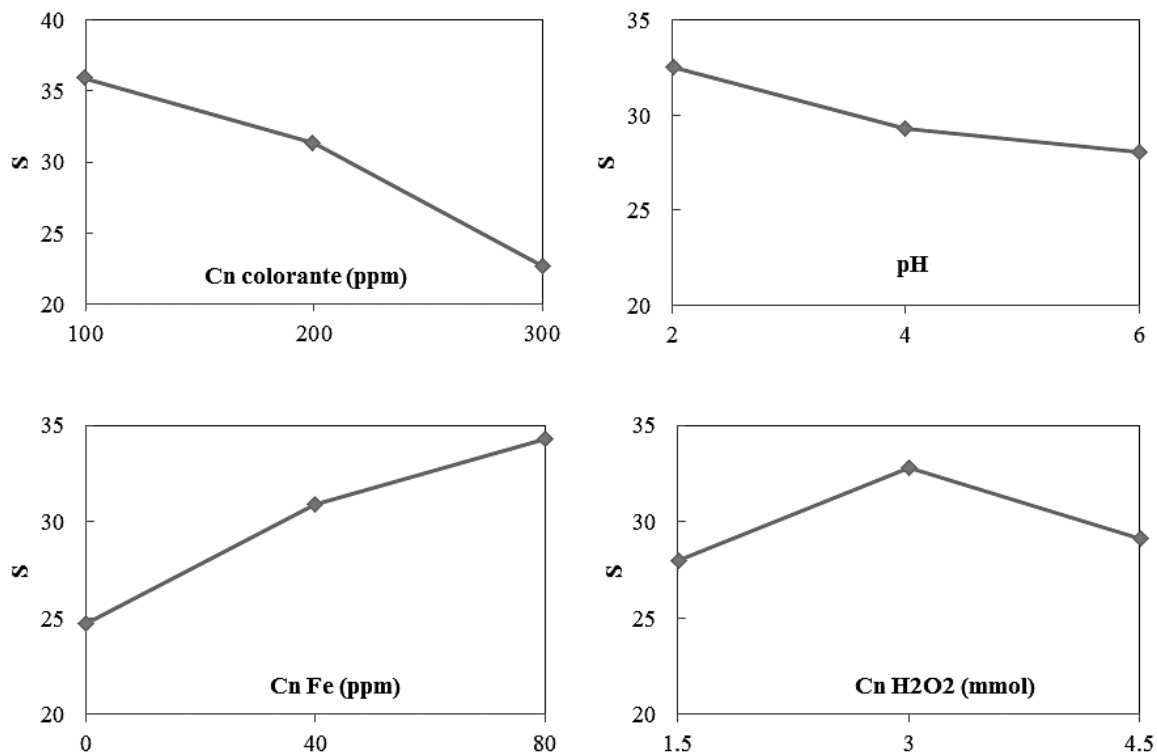
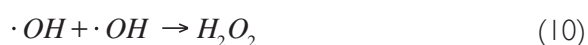
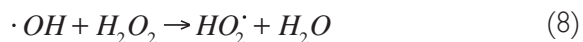


Figura 3. Efectos de los factores de estudio en la señal  $S/N$  para el porcentaje de degradación de DQO.

contrario, se puede notar por la reacción (6) que el proceso  $H_2O_2/UV$  es independiente de este parámetro. Se ha reportado que para el proceso Foto-Fenton se puede remover de forma efectiva material orgánico tóxico y refractario como es el color de un tinte presente en aguas residuales industriales, a pH de 3, 3.5 y 7, por lo tanto se concluye que este proceso puede remover contaminantes bajo condiciones ácidas o neutras. Con base en lo anterior y analizando los resultados de la figura 3, se puede decir que el valor óptimo de pH para que el proceso Foto-Fenton tenga mayor efectividad es de 2.

Con respecto al efecto de la dosis de peróxido de hidrógeno en la eficiencia de degradación de materia orgánica, se observa que la degradación aumenta cuando se incrementa la dosis de  $H_2O_2$  hasta alcanzar un valor máximo; después de este punto el aumento de la concentración de peróxido haría disminuir la eficiencia del proceso. Este comportamiento se debe al hecho de que el peróxido de hidrógeno es un removedor de radicales hidroxilo de acuerdo a las siguientes reacciones:



Cuando existe suficiente peróxido de hidrógeno en la solución, este comienza a competir con el colorante para reaccionar con los radicales hidroxilo ya que  $HO_2\cdot$  es menos reactivo que el radical  $OH\cdot$ . Por

lo tanto, los radicales hidroxilos generados en una alta concentración de ellos van a ser dimerizados a  $H_2O_2$ . Por lo tanto, es importante aplicar la dosis de peróxido que permita obtener el mayor rendimiento de los procesos  $H_2O_2/UV$  y Foto-Fenton. En esta investigación y de acuerdo con la figura 3, la dosis que permite alcanzar el mayor porcentaje de degradación de DQO es la de 3.0 mmol/L.

Los resultados obtenidos indican que la degradación de la materia orgánica durante el período de reacción inicial fue bastante rápida en la presencia de iones ferrosos, es decir, para el proceso  $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ , mientras esta degradación ocurrió de una manera más lenta cuando no existía hierro en la disolución ( $H_2O_2/UV$ ). Esta tendencia de aumento se debe a que a mayor concentración férrica, mayor es la formación de  $OH\cdot$  que se da en la reacción de Foto-Fenton, lo cual conduce a una mayor tasa de degradación de DQO. Lo anterior se fundamenta con las reacciones (5)-(7).

En la figura 4 se muestra la contribución de los cuatro factores en el porcentaje de degradación de DQO. Se observa que la concentración de colorante es la que presenta el mayor impacto en la variable respuesta. La concentración de hierro es el segundo factor que presenta un mayor impacto porque su presencia o ausencia define el tipo de proceso de oxidación avanzada que se estaría dando y por ende el mecanismo de producción de radicales  $OH\cdot$ . El porcentaje de peróxido de hidrógeno y el pH son los factores con las menores contribuciones. Estos resultados fueron además corroborados mediante un análisis de varianza.

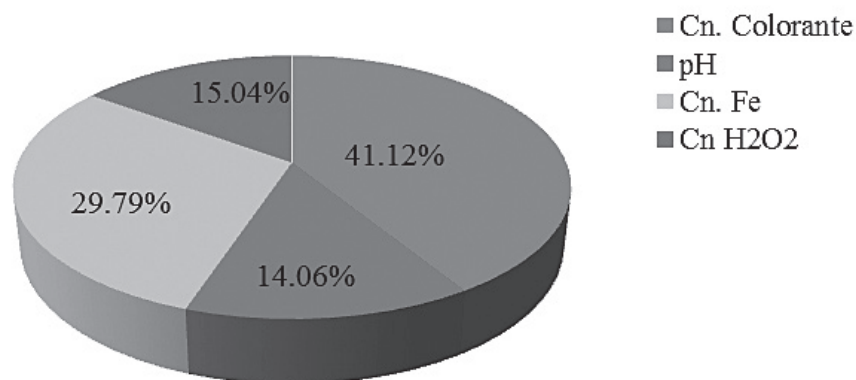


Figura 4. Contribución de cada factor de estudio en el porcentaje de degradación de DQO.

La figura 5 muestra como el grado de decoloración en el proceso Foto-Fenton es mayor y más rápido que en el proceso  $H_2O_2/UV$ . Además, a pesar de que la prueba del proceso  $H_2O_2/UV$  presenta el nivel de  $H_2O_2$  donde se espera que ocurra un mayor porcentaje de degradación del color, la presencia de hierro es la que domina al final la efectividad del proceso, reiterando que este parámetro presenta una mayor contribución a la degradación del colorante.

Otro punto importante que se quiso estudiar fue el comportamiento que tiene el peróxido de hidrógeno dependiendo del proceso que se está llevando a cabo. Para el proceso Foto-Fenton, el consumo de  $H_2O_2$  es decadente durante toda la reacción hasta llegar a su agotamiento, mientras que para proceso  $H_2O_2/UV$ , la concentración del peróxido permanece constante durante el tiempo de reacción.

Estos resultados se ilustran en la figura 6 y se pueden explicar debido a que el ion férrico acelera la foto-descomposición del peróxido de hidrógeno, ya que la fotólisis directa de soluciones ácidas de  $H_2O_2$  da radicales  $\bullet OH$  como producto primario junto con pequeñas cantidades de radicales  $\bullet OOH$  (ver reacciones (11) y (12)).



Para incluir el factor económico en el estudio realizado, el análisis de Taguchi se hizo estudiando la relación de gramos de DQO removidos por dólar de reactivos empleados. Para ello se tomaron en cuenta los costos del peróxido de hidrógeno y del sulfato de hierro, ambos de grado industrial.

En la figura 7 se muestran los resultados obtenidos y se observa que la relación económica de estudio es mayor cuando se trabaja a concentraciones bajas de 100 y 200 ppm; para la concentración de hierro se observa que trabajar a 80 ppm permite obtener una degradación de la materia orgánica favorable incluso cuando el costo de reactivos es mayor; para el caso de la concentración de peróxido de hidrógeno se muestra que a una concentración de entre 1.5 y 3.0 mmol se logra un resultado óptimo. Lo anterior concuerda con lo obtenido en el análisis de la disminución de la DQO.

La contribución de cada factor en la relación de gramos de DQO removidos por dólar invertido viene dada por la figura 8. En ella se observa que las concentraciones de hierro y peróxido de hidrógeno representan las mayores contribuciones a una degradación económica.

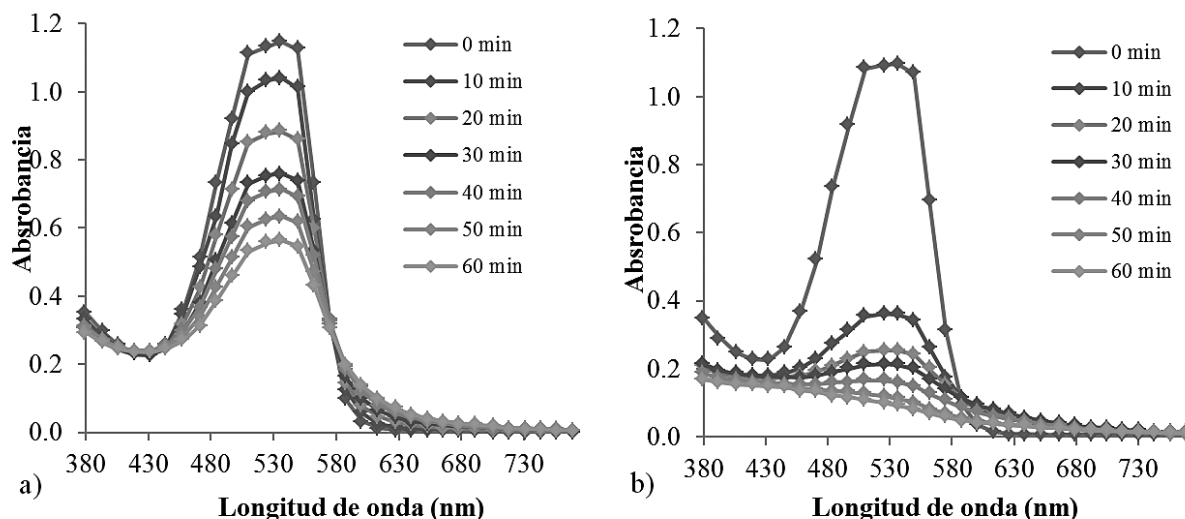


Figura 5. Degradación del color a través del tiempo para una muestra de 300 ppm colorante, a) Proceso  $H_2O_2/UV$  con 3 mmol/L de  $H_2O_2$ , b) Proceso Foto-Fenton con 1.5 mmol/L de  $H_2O_2$ .

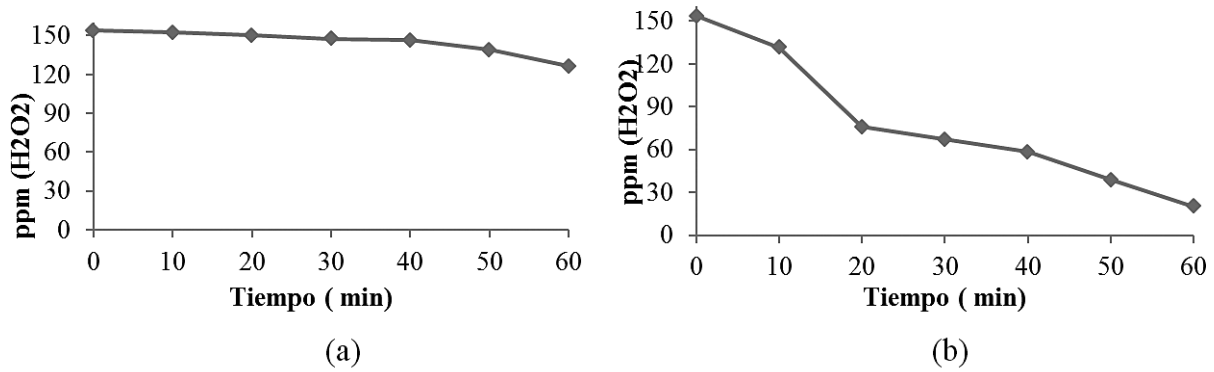


Figura 6. Comportamiento del peróxido de hidrógeno en el proceso a) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV y b) Foto-Fenton.

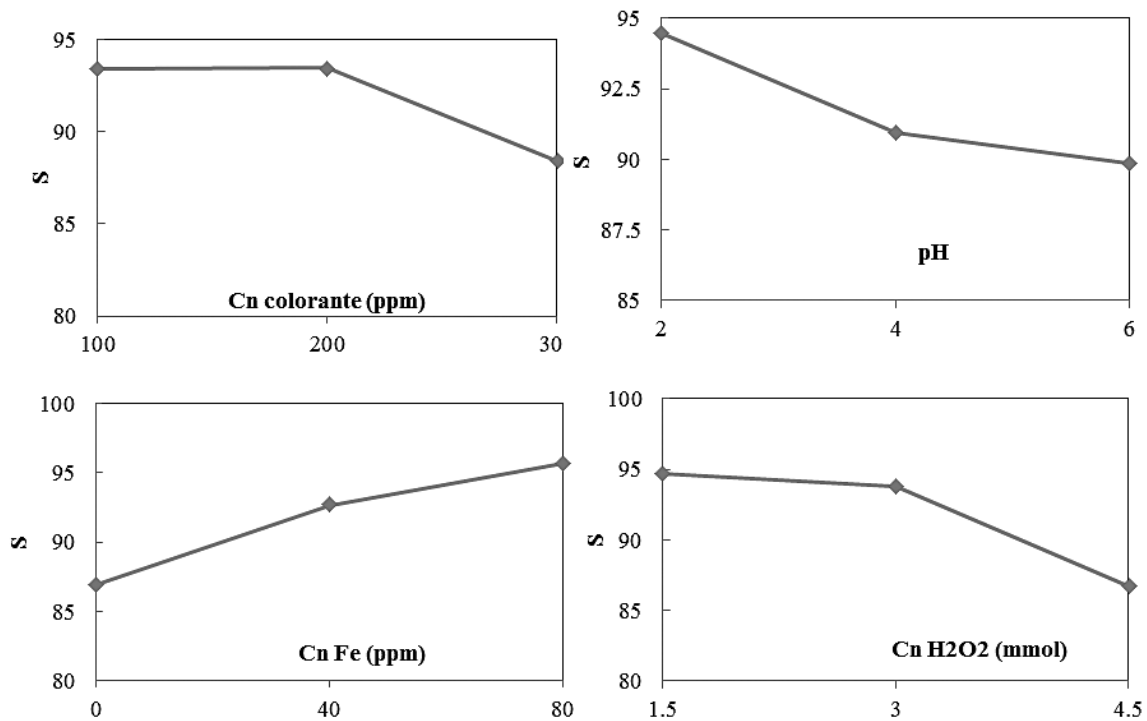


Figura 7. Efectos de los parámetros de diseño en la señal S/N para la relación de gramos de DQO removidos por dólar de costo de reactivos.

Luego de analizar todos estos resultados, se concluyó que las condiciones con las que se alcanzarían mayores y más económicas reducciones de DQO son las que aparecen reportadas en el cuadro 2. De acuerdo a esto, se realizaron dos corridas a las condiciones óptimas encontradas para corroborar los resultados del diseño experimental aplicado (ver

figura 9) y se obtuvieron porcentajes de reducción promedio de 65,5% en la DQO y de 77,0% en la decoloración del tinte luego de una hora de tratamiento. En la figura 9 se observa el comportamiento típico de reacción del proceso Fenton, en donde se da un decaimiento brusco de la concentración en los primeros minutos de reacción y luego la



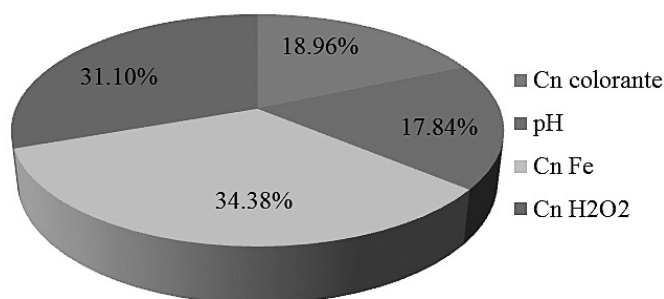


Figura 8. Contribución de cada factor en la relación de gramos de DQO removidos por dólar.

Cuadro 2. Condiciones óptimas de operación para aumentar la efectividad de los procesos en la decoloración y degradación del colorante RR191.

Factor	Valor
Conc. de colorante	100 ppm
pH	2
Conc. de hierro	80 ppm
Conc. de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.0 mmol/L

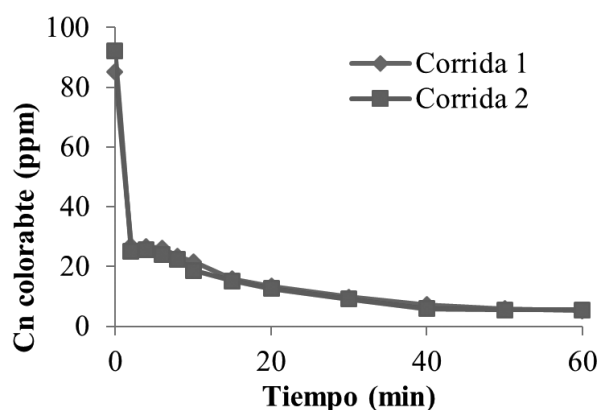


Figura 9. Concentración de colorantes en función del tiempo en las condiciones óptimas

concentración disminuye con una menor velocidad hasta llegar a cero. Esto se debe a que al inicio se da una reacción muy rápida entre los iones Fe<sup>2+</sup> con el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formando gran cantidad de radicales ·OH, los

cuales reaccionan inmediatamente con el colorante; sin embargo, luego de que los iones se transforman a Fe<sup>3+</sup> la velocidad de reacción decae significativamente (Al-Kdasi et al., 2004).

### Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se encontró que tanto el proceso H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV como el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>/UV son tratamientos viables para tratar aguas contaminadas con colorante textil, con los que se alcanzaron porcentajes altos en la disminución del color y reducción de su contenido orgánico.

Se concluye que el proceso foto-Fenton presenta una mayor efectividad que el proceso H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV en las condiciones de estudio, debido a la mayor formación de radicales hidroxilo. La descomposición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> catalizada por hierro y UV es mayor que la obtenida solo mediante radiación UV.

La dosis de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) controla la eficiencia global de la remoción de color, mientras que la dosis de hierro juega el rol de acelerar la decoloración durante el período inicial de reacción debido a la formación rápida de los radicales hidroxilo (OH•). Se encontró que esta remoción de color aumenta con el incremento de la dosis de hierro.

Del análisis de los resultados mediante la metodología Taguchi se obtuvo que las mejores condiciones en las que se alcanzan las mayores y más económicas degradaciones del tinte textil son a concentraciones de colorante de 100 ppm, pH de 2, concentración de hierro a 80 ppm y concentración de peróxido de hidrógeno de 3.0 mmol/L.

## Recomendaciones

El trabajo presentado en este artículo no pretende ser un tema finalizado y cerrado sino que, por el contrario, queda abierto para su desarrollo por medio de dos vías complementarias: la investigación básica y la aplicación industrial.

Como investigación básica:

- Es aconsejable hacer un estudio de las posibles interacciones entre factores, si es que existen, para tener en cuenta todos los fenómenos que contribuyen a la degradación del colorante, haciendo énfasis en una posible interacción del pH con la concentración de hierro y/o peróxido de hidrógeno.
- Se recomienda realizar un escalamiento piloto para determinar con mayor precisión las influencias de variables operacionales como: temperatura, pH, formación de lodos, tipo de reactor, materiales de soporte.
- Se recomienda el estudio y análisis de los productos intermedios y finales del tratamiento para el estudio de sus características químicas.

Como aplicación, se debe comenzar por trabajar con efluentes reales provenientes de industrias textiles con el objetivo de comprobar:

- La rentabilidad de la aplicación de este método en el tratamiento de aguas residuales.
- La posibilidad de reutilizar los efluentes de tintura tratados con oxidación avanzada.
- El dimensionamiento de la planta de tratamiento.

## Bibliografía

Aleboye, A., Aleboye, H. & Moussa, Y. (2003). Critical effect of hydrogen peroxide in photochemical oxidative decolorization of dyes: acid orange 8, acid blue 74 and methyl orange. *Dyes and pigments* 57, 67-75.

Aleboye, A., Moussa, Y. & Aleboye, H. (2005). The effect of operational parameters on UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> decolourisation of Acid Blue 74. *Dyes and Pigments* 66, 129-134.

Al-Kdasi, A., Idris, A., Saed, K. & Teong, C. (2004). Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes-a review. *GLOBAL NEST: the International Journal* 6, 222-230.

Almecija, M.C., Hontoria, E., Muño, M.M., Osorio, F., Poyatos, J.M. & Torres, J.C. (2010). Advanced Oxidation Processes

for Wastewater Treatment: State of the Art. *Water Air Soil Pollution* 205, 187-204.

Amer, A., Amin, H., El Fecky, A. & Ibrahim, I. (2008). Treatment of textile wastewater using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV system. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 42, 17-28.

Baeyens, J. & Neyens, E. (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials* 98, 33-50

Caronna, T., Colonna, G.M. & Marcandalli, B. (1999). Oxidative degradation of dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. *Dyes and Pigments* 41, 211-220.

Chang, M.C. & Shu, H.Y. (2005). Pilot scale annular plug flow photoreactor by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for the decolorization of azo dye wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 34, 244-251.

Chiu, H.M., Hung, Y.T., Shiao, C.S. & Yeh, R.Y. (2007). Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes. *Dyes and Pigments*, 73, 1-6.

Domènech, X., Peral, J., Pérez, M. & Torrades, F. (2002). Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. *Water Research* 36, 2703-2710.

Gutarra, A., Lizama, C., Mansilla, H.D. & Rodríguez, J. (2001). *Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil*. En: Blesa, M.A. (Ed.). Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea (pp. 285-294). La Plata, Argentina: CYTED.

Kalt, A. & Galindo, C. (1999). UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation of azodyes in aqueous media: evidence of a structure-degradability relationship. *Dyes and Pigments* 42, 199-207.

Khandelwal, D.H. & Ameta, R. (2013). Use of Photo-Fenton Reagent in the Degradation of Basic Yellow 2 in Aqueous Medium. *Research Journal of Recent Sciences* 2, 39-43.

Kim, S.M. & Vogelpohl, A. (2004). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in wastewater Treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 10, 33-40.

López, R.C. (2001). Fotodecoloración de un azocolorante mediante el proceso H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. Tesis presentada para optar por la Licenciatura en Ciencias. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Mackay, A., Oliveros, E. & Pignatello, J.J. (2006). Advanced Oxidation Processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. *Environmental Science and Technology* 36, 1-84.

Marcano, D. (1990). *Introducción a la química de los colorantes*. Caracas: Editorial Reverte.

Roy, R. (1990). *A primer on Taguchi Method*. New York: Van Nostrand Reinhold Int. Co. Ltd.

Vogelpohl, A. (2007). Applications of AOPs in wastewater treatment. *Water Science and Technology* 55, 207-211.

Wua, K., Xiea, Y., Zhaoa, J. & Hidakab, H. (1999). Photo-Fenton degradation of a dye under visible light irradiation. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 144, 77-84.

# Prueba comparativa de uniformidad de contenido en tabletas de teofilina (150 mg/tab) de dos casas farmacéuticas en Costa Rica

Comparative test of content uniformity of theophylline (150 mg/tab) tablets from two pharmaceutical houses in Costa Rica

*Esteban Pérez-López<sup>1</sup>  
Kevin Morales-Alfaro<sup>2</sup>  
Alfonso Rojas-Hernández<sup>3</sup>  
Anderson Vargas-Vargas<sup>4</sup>*

*Fecha de recepción: 22 de julio del 2013  
Fecha de aprobación: 11 de octubre del 2013*

*Pérez-López, E; Morales-Alfaro, K; Rojas-Hernández, A; Vargas-Vargas, A. Prueba comparativa de uniformidad de contenido en tabletas de teofilina (150 mg/tab) de dos casas farmacéuticas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 51-57*

1. Máster en Sistemas Modernos de Manufactura y bachiller en Laboratorista Químico. Profesor Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [esteban.perezlopez@ucr.ac.cr](mailto:esteban.perezlopez@ucr.ac.cr).
2. Estudiante de bachillerato en Laboratorista Químico. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [kevin.morales@ucr.ac.cr](mailto:kevin.morales@ucr.ac.cr).
3. Estudiante de bachillerato en Laboratorista Químico. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [alfonso.rojas@ucr.ac.cr](mailto:alfonso.rojas@ucr.ac.cr).
4. Estudiante de bachillerato en Laboratorista Químico. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: [anderson.vargas@ucr.ac.cr](mailto:anderson.vargas@ucr.ac.cr).

## Palabras clave

Teofilina; uniformidad de contenido; principio activo; tabletas; absorbancia; espectroscopía.

## Resumen

Dada la importancia del medicamento denominado teofilina para su uso en pacientes con problemas de asma y su alto consumo en Costa Rica, se eligió el producto en tabletas de 150 mg de teofilina de una casa farmacéutica que lo produce y distribuye en forma genérica, junto con el que fabrica la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) en la misma dosis. Se realizó el estudio comparativo de la prueba de uniformidad de contenido para las tabletas de teofilina de 150 mg de la casa farmacéutica LISAN y las fabricadas por la CCSS. La prueba de uniformidad de contenido analíticamente se fundamentó en la absorción y cuantificación del ingrediente activo teofilina a 272 nm para 10 muestras de cada casa farmacéutica, mediante el uso de un espectrofotómetro UV/Vis, empleando como disolvente agua destilada. Se probó un método selectivo, exacto y preciso y se obtuvo como resultado que todas las dosis ensayadas para cada fabricante se encuentran en el rango de 100% a 110%, con respecto a lo etiquetado sobre el principio activo en las tabletas y con un desvío relativo no mayor al 2,5%, cumpliendo holgadamente con lo establecido por la Farmacopea de Estados Unidos para la prueba de uniformidad de contenido.

## Key words

Theophylline; content uniformity; active ingredient; tablets; absorbance; spectroscopy.

## Abstract

Given the importance of the drug called theophylline, for use in patients with asthma, and given the high consumption of this drug in our country, we chose the product in tablets of 150 mg of theophylline from a pharmaceutical company that produces and distributes in the form generic that drug, along with manufactured by the Social Security Fund (CCSS) at the same dose of the same drug. We performed a comparative study of content uniformity test for theophylline tablets 150 mg, pharmaceutical house LISAN and the Social Security Fund. The content uniformity test was based on the absorption of the active ingredient and theophylline quantification at 272 nm for 10 samples of each house pharmaceutical, by using a UV/Vis, using distilled water as solvent. Proved that the method is selective, accurate and precise, and as a result was obtained that at all doses tested for each manufacturer, are in the range of 100% to 110%, with respect to labeling of the active ingredient in the tablets and with a relative deviation of no more than 2,5%, complying with the provisions of the Pharmacopoeia of the United States, to test for uniformity of content.

---

## Introducción

La prueba de uniformidad de contenido es “el examen para determinar la variabilidad de cantidad del principio activo presente en unidades que sirven de muestra de un determinado lote” (Durán 2011, p. 33).

La uniformidad de contenido se aplica principalmente a las formas farmacéuticas sólidas orales (tabletas y cápsulas), con el fin de medir el grado de variabilidad en el proceso de manufactura del medicamento y, aunque se puede aplicar en todos los casos, en términos generales se aplica a medicamentos en los que el contenido de principio activo es menor

a 25 mg, o en aquellos casos en los que la cantidad de principio activo representa menos del 25% del tamaño total de la dosis en cuanto a su peso.

La prueba consiste en analizar diez dosis individuales del fármaco y determinar el contenido de principio activo presente en cada una de ellas. Cada dosis debe estar comprendida en el rango de 85-115% de lo etiquetado en el medicamento y con una desviación no mayor al 6%.

Según la Farmacopea de Estados Unidos, si 1 unidad está fuera del intervalo de 85,0% a 115,0% de la cantidad declarada en la etiqueta y ninguna unidad está fuera del intervalo de 75,0% a 125,0% de la

cantidad declarada, o si el RSD es más de 6,0%, o si ambas condiciones prevalecen, se analizan 20 unidades adicionales. Los requisitos se cumplen si no más de 1 unidad de las 30 está fuera del intervalo de 85,0% a 115,0% de la cantidad declarada y ninguna unidad está fuera del intervalo de 75,0% a 125,0% de la cantidad declarada y el RSD de 30 unidades de dosificación no es más de 7,8%.

Las buenas prácticas de laboratorio han logrado fomentar y corroborar que un medicamento cumpla con las especificaciones del fabricante. Esto se hace por medio de métodos válidos de análisis para garantizar la eficacia, seguridad y homogeneidad de un medicamento, obteniéndose resultados fiables y documentados desde la práctica analítica (Lavaut, 2009).

La investigación se basó en el estudio de la teofilina, que se define como un fármaco muy empleado en la medicina humana en diversidad de formas farmacéuticas: tabletas, cápsulas, solución líquida y jarabe para tomar por vía oral. Se administra por vía oral y sufren procesos de liberación 3 a 4 veces al día.

La teofilina se presenta en variados medicamentos sola o asociada para el tratamiento de diferentes afecciones pulmonares (Ponce de León et al., 2005). La teofilina se usa para prevenir y tratar resfriados, falta de aire y dificultad para respirar causada por asma, bronquitis crónica, enfisema y otras enfermedades pulmonares (Kadam et al., 2009). La estructura de la teofilina se ilustra en la figura 1.

El método analítico empleado para la determinación de uniformidad fue la espectroscopía ultravioleta. Refiriéndose a la espectroscopía para el análisis del principio activo, es de gran ayuda utilizar el método de espectrofotometría ultravioleta, ya que en las últimas décadas las técnicas de derivación por espectrofotometría han ganado rápidamente aplicaciones en el campo del análisis farmacéutico, superando problemas de interferencia, debido a la sustancia y el analito, comúnmente presenta formulaciones analíticas o la combinación de dos o más drogas (Bosch, 2012).

Se prefiere la espectrofotometría ultravioleta, ya que se busca la cuantificación de un principio activo, buscando un análisis más sencillo eliminando el traslape de picos que presenta la espectroscopía infrarroja (Bosch, 2012).

La investigación se basó en la cuantificación individual del ingrediente activo de un número de tabletas de teofilina mediante la técnica analítica de espectroscopía ultravioleta, analizando el producto de dos casas farmacéuticas (LISAN y la Caja Costarricense del Seguro Social, CCSS). Además se realizaron las pruebas estadísticas pertinentes para determinar si el ingrediente activo de las muestras se encuentra dentro de los límites establecidos por la Farmacopea de Estados Unidos (USP), que son 85-115%. Además se determinó si hay una diferencia significativa en el contenido de teofilina en el producto entre los fabricantes.

La razón esencial de la escogencia de este medicamento es el efecto negativo que tiene sobre el cuerpo, ya que presenta efectos secundarios. En el caso de la teofilina, tiene una alta posibilidad de enlazarse con las moléculas de ADN (Johnson, Malathi, Prakash, Prathiba y Raghunathan 2012, p. 4), lo cual conlleva una serie de problemas.

“Interesantemente, esos derivados de xantinas tienen interacciones con complejos esteroide-receptor; ADN, ARN, receptores de adenosina, quinasas de proteínas, y comportamiento neurológico, los cuales son contados para ser esenciales por su habilidad de modular las reacciones bioquímicas mediante la interacción con ácidos nucleicos o a través de moléculas de señalización celular” (Johnson et al. 2012, p. 1).

Debido a ello, se han realizado determinaciones de concentración de teofilina dentro del cuerpo, ya que es un factor importante para establecer el

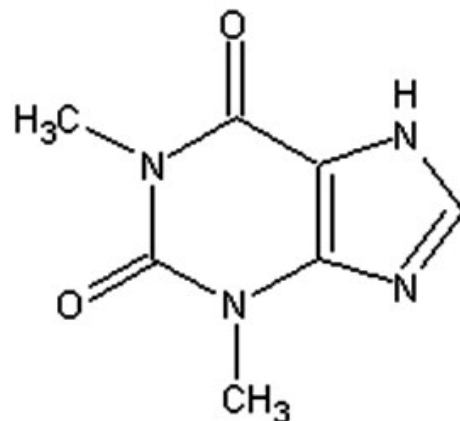


Figura 1. Estructura de la teofilina.

efecto que tendría en el organismo. Así lo indica Koch-Weser, mencionado por Arora, Dhillon, Kumar y Sharma, 2011).

## Metodología

Se ensayaron diez dosis individuales del producto en estudio colocando las tabletas enteras en balones aforados de 100 mL; a cada uno se le añadieron 10 gotas de agua destilada, permitiendo el contacto del agua con la tableta hasta lograr su desintegración. Posteriormente se le agregaron cerca de 60 mL de agua destilada a cada balón y se colocaron en baño ultrasónico por 10 minutos, hasta lograr la disolución total del principio activo. Luego se colocaron en baño de agua fría los balones y se aforaron con el mismo disolvente cuando estos se encontraban a temperatura ambiente; después de aforarlos, se filtró cada uno con papel de filtro cuantitativo número 2, para eliminar los excipientes insolubles.

Posteriormente se tomó una alícuota de 0,5 mL y se llevó a un balón de 100 mL con agua destilada, para obtener una concentración teórica esperada y aproximada de 7,5 mg/L. Se preparó una disolución madre de teofilina en agua destilada, con una concentración aproximada a 800 mg/L en un balón de 25 mL, a partir de un patrón de pureza conocida, y se diluyó 1 mL en 100 mL con agua destilada, para obtener una concentración de 8 mg/L. Por último, se midió la absorbancia del patrón y las muestras de teofilina en un espectrofotómetro UV/Vis, Perkin Elmer Lambda 20, utilizando agua destilada como blanco reactivo y se calcularon los miligramos de teofilina presentes en cada dosis ensayada y el porcentaje de lo etiquetado en cada caso.

## Resultados

El análisis de uniformidad de contenido realizado a las tabletas de teofilina fabricadas por dos diferentes casas farmacéuticas de Costa Rica muestra poca variación en sus resultados. El estudio de la cantidad en miligramos de principio activo (teofilina) en las tabletas producidas por LISAN (media de 156,81 mg/tab, desviación estándar de 3,15 mg/tab,  $n = 10$  tabs) se muestra en el cuadro 1. Los datos obtenidos son estadísticamente aceptables, ya que el coeficiente de variación es de 2,00%, con un rango de 10,08 mg/tab y una desviación estándar de 3,15

mg/tab, y cada dosis ensayada se encuentra dentro del intervalo de 85% a 115% de lo etiquetado, según lo establece como criterio de aceptación la Farmacopea de Estados Unidos.

En el caso del análisis de las tabletas de la CCSS, mostrado en el cuadro 2, se determinó la cantidad de teofilina (media de 154,07 mg/tab, desviación estándar de 3,62 mg/tab,  $n = 10$  tabs). Los datos obtenidos presentan un coeficiente de variación de 2,35%, lo cual indica buena confiabilidad, además presentan un rango de 10,04 mg/tab y una desviación estándar de 3,62 mg/tab; e igualmente cada dosis ensayada se encuentra dentro del intervalo de 85% a 115% de lo etiquetado, según lo establece como criterio de aceptación la Farmacopea de Estados Unidos.

Con el objetivo de comparar ambos promedios, se realizó una prueba de hipótesis para la diferencia de dos medias, en la cual la hipótesis nula es que ambos promedios son iguales y la hipótesis alternativa es que son diferentes. Al realizar la prueba con un 99,99% de confianza, no se obtuvieron suficientes evidencias para asegurar que ambas medias son diferentes, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula.

Lo anterior demuestra que ambos promedios son muy cercanos entre sí, entonces ambas casas farmacéuticas producen tabletas con cantidades de teofilina muy similares, como se observa en la figura 2.

Además, en ambos casos la variabilidad entre las tabletas analizadas es muy baja, tal y como se observa en la figura 3, donde vemos que el contenido de teofilina en las tabletas de ambas casas oscila entre 100% y 108% con respecto a lo etiquetado por tableta, con desviaciones estándar relativas inferiores al 2,5% en ambos casos. Por lo tanto, podemos decir que el proceso productivo de las tabletas de teofilina empleado por ambos fabricantes es controlado y muy homogéneo.

## Discusión

La uniformidad de contenido indica que las tabletas de la CCSS poseen una mayor exactitud con respecto a las de LISAN en cuanto a la cantidad del principio activo teofilina, aunque ninguna tableta, ni de LISAN ni de la CCSS, se encuentra fuera de las especificaciones de la Farmacopea de Estados Unidos.

Cuadro 1. Resultados de la uniformidad de contenido en tabletas de teofilina producidas por LISAN.

Muestra	Absorbancia ( $\pm 0,001$ )	Cantidad de teofilina ( $\pm 3,15$ mg)	Porcentaje de lo etiquetado (%)*
1	0,426	153,32	102,21
2	0,422	151,88	101,25
3	0,440	158,36	105,57
4	0,434	156,20	104,13
5	0,431	155,12	103,41
6	0,450	161,96	107,97
7	0,440	158,36	105,57
8	0,444	159,80	106,53
9	0,429	154,40	102,93
10	0,441	158,72	105,81
* Promedio del porcentaje con respecto a lo etiquetado= 104,54%			

Cuadro 2. Resultados de la uniformidad de contenido en tabletas de teofilina producidas por la CCSS.

Muestra	Absorbancia ( $\pm 0,001$ )	Cantidad de teofilina ( $\pm 3,62$ mg)	Porcentaje de lo etiquetado (%)*
1	0,431	160,39	106,93
2	0,406	151,09	100,73
3	0,421	156,67	104,45
4	0,404	150,35	100,23
5	0,418	155,56	103,70
6	0,415	154,44	102,96
7	0,409	152,21	101,47
8	0,406	151,09	100,73
9	0,404	150,35	100,23
10	0,426	158,53	105,69
*Promedio de porcentaje con respecto a lo etiquetado= 102,71%			

El promedio de porcentaje de lo etiquetado de teofilina para las tabletas de LISAN fue de 104,54%, o sea 6,81 mg en promedio por encima de 150 mg, que era el valor etiquetado. Por otra parte, el promedio de porcentaje con respecto a lo etiquetado obtenido en las tabletas de la CCSS fue de 102,71%, lo cual indica 4,07 mg en promedio sobre el valor etiquetado. Esto revela la buena calidad del proceso

de manufactura implementado por ambas casas farmacéuticas.

Además, los análisis para cuantificar el principio activo de la teofilina se realizaron bajo las mismas condiciones, tanto para las tabletas de la CCSS como para las de LISAN. Con esto se garantizó una buena reproducibilidad del análisis, lo que conlleva a una mayor confiabilidad en los datos obtenidos.

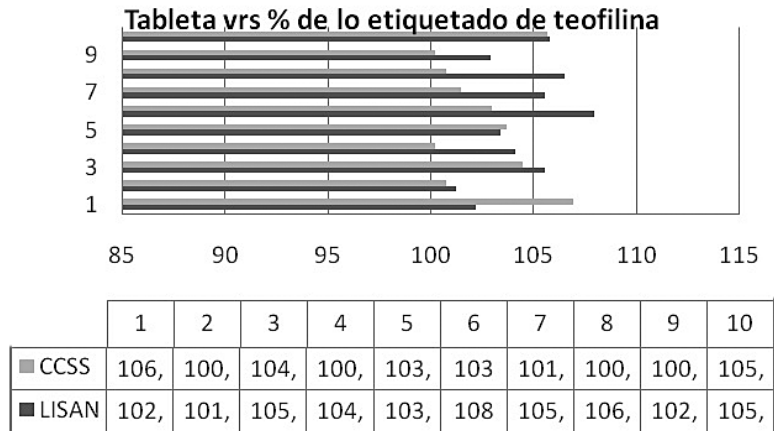


Figura 2. Comparación de uniformidad de contenido en tabletas de teofilina de dos casas farmacéuticas (LISAN y CCSS).

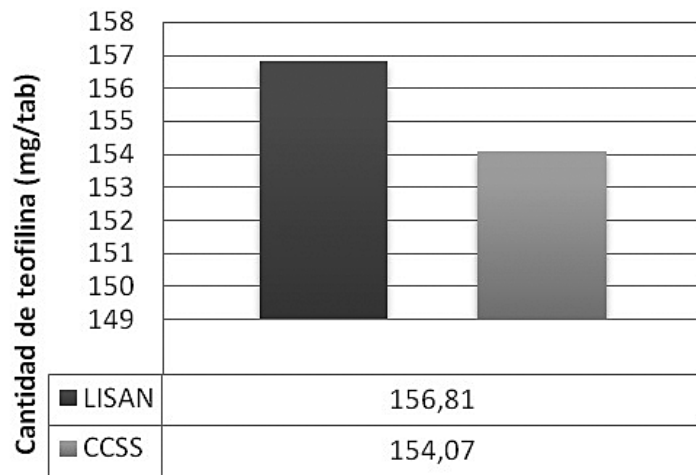


Figura 3. Variabilidad en el contenido de teofilina en tabletas de dos casas farmacéuticas (LISAN y CCSS).

Sin embargo, solo el promedio no es suficiente para garantizar que el principio activo se encuentre dentro de los límites aceptables, por lo cual se tomaron en cuenta otros parámetros, como la desviación estándar, el coeficiente de variación y el rango.

En cuanto a la desviación estándar como parámetro para medir la variación de los datos, los valores obtenidos fueron de 3,15 para LISAN y 3,62 para la CCSS; el coeficiente de variación (DSR) para ambos conjuntos de datos fue de 2,00% para LISAN y

2,35% para la CCSS, y la especificación establece que no debe ser mayor al 6%.

Con respecto al rango de los datos, que nos indica qué tan alejado se encuentra el valor máximo del mínimo, el rango de los datos obtenidos en el análisis de las tabletas de LISAN fue de 10.08 mg, mientras que el de la CCSS fue de 10,04 mg. Considerando lo anterior, se puede afirmar que los datos presentan poca dispersión, lo que es lo más adecuado en un análisis de laboratorio y más



si se trata de considerar la variabilidad propia del proceso productivo, como en este caso. Además, la especificación para la prueba va de 85% a 115% de lo etiquetado para cada dosis ensayada, lo cual corresponde a un rango de 45 mg en el caso de las tabletas analizadas que son de 150 mg de principio activo, por lo cual lo obtenido fue muy bueno.

Una vez determinado el nivel de dispersión de los datos, se realizó la prueba de hipótesis, la cual evidenció que ambos promedios son estadísticamente iguales, ya que con un nivel de confianza de 99,99%, no se encontró evidencia suficiente para afirmar que existe una diferencia significativa entre ambos promedios. Esto confirma que existe poca diferencia entre el valor obtenido para las tabletas de LISAN y para las de la CCSS.

### Consideraciones finales

Los resultados individuales de las tabletas analizadas para los dos productos estudiados demuestran el cumplimiento de las especificaciones establecidas por la farmacopea para la prueba realizada, además de presentar resultados muy homogéneos.

La prueba de hipótesis para la diferencia de dos medias reflejó que no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que las medias son diferentes, por lo que ambos promedios obtenidos son similares; además de que los desvíos relativos reflejan la baja variabilidad presentada en el contenido por tableta obtenida en los dos productos analizados.

La teofilina es una xantina ampliamente utilizada por vía oral e intravenosa en el tratamiento del asma y de los broncoespasmos. Además es una sustancia natural que existe en el té y está químicamente emparentada con la cafeína y la teobromina.

Además de sus efectos broncodilatadores, la teofilina también tiene propiedades inmunomoduladoras y antiinflamatorias y relaja el músculo liso bronquial así como los vasos pulmonares.

En los pacientes asmáticos, la teofilina reduce las respuestas de las vías aéreas a la histamina, metacolina, adenosina y alergenos. Sin embargo, la capacidad de la teofilina para controlar el asma crónica no se puede explicar a partir de su actividad broncodilatadora, que es relativamente débil. Las propiedades antiinflamatorias de la teofilina explican sus efectos en las reacciones tardías del asma.

Otros efectos extrapulmonares de la teofilina son los estimulantes sobre el sistema nervioso central, el aumento de la contractilidad del diafragma y la inhibición de las prostaglandinas. Además, el hecho de que la teofilina sea capaz de reducir la apnea del sueño en pacientes con insuficiencia cardíaca es una prueba de que debe existir algún mecanismo de origen central.

### Bibliografía

- Arora, S., Dhillon, V., Kumar, V. & Sharma, A. (2011). Use of simple spectrophotometric method for estimation of theophylline (TH) in saliva and urine of healthy human volunteer. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 2(3): 36-41.
- Bosch, C. & Sanchez, F. (2012). Recent applications in derivative ultraviolet/visible absorption spectrophotometry: 2009-2011. *Microchemical Journal* 106: 1-16.
- Durán, D. (2011). *Análisis fisicoquímico de productos farmacéuticos en las diferentes etapas del proceso de la industria farmacéutica*. Universidad de Carabobo.
- Johnson, I., Malathi, R., Prakash, H., Prathiba, J. & Raghunathan, R. (2012). Spectral Analysis of Naturally Occurring Methylxanthines (Theophylline, Theobromine and Caffeine) Binding with DNA. *PLOS ONE* 7(12): 1-11.
- Kadam, V., Malke, S. & Shidhaye, S. (2009). Validated stability indicating HPLC method for estimation of theophylline from a novel microsphere formulation. *Asian Journal of Pharmaceutics* 13-17.
- Lavaut, M. & Rodríguez, J. (2009). Validación del método de determinación de uniformidad de contenido en tabletas de dipirona de 300mg en el Laboratorio Farmacéutico Oriente. *Revista Cubana de Química* 21(2): 66-69.
- Ponce de León, L. & Rojas, J. (2005). Desarrollo y validación de un método analítico (HPLC-RP) para la determinación de teofilina. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas* 28: 25-31.

# Diagnóstico y dinámica poblacional de nematodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivos de piña en Costa Rica

Diagnostic of plant parasitic nematodes and its population dynamics in two pineapple cultivation systems in Costa Rica

*Tomas de Jesús Guzmán-Hernández<sup>1</sup>*

*Joaquín Durán-Mora<sup>1</sup>*

*Wayner Montero-Carmona<sup>1</sup>*

*Henry Vargas-Céspedes<sup>1</sup>*

*Zulay Castro-Jiménez<sup>1</sup>*

*Dinia Estela Carvajal-Vargas<sup>1</sup>*

*Dany León-Arias<sup>1</sup>*

*Fecha de recepción: 24 de abril del 2013*

*Fecha de aprobación: 27 de octubre del 2013*

Guzmán-Hernández, T; Durán-Mora, J; Montero-Carmona, W; Vargas-Céspedes, H; Castro-Jiménez, Z; Carvajal-Vragas, D; León-Arias, D. Diagnóstico y dinámica poblacional de nematodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivos de piña en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 58-81

<sup>1</sup> Escuela de Agronomía. Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible para el Trópico Húmedo (CIDASTH). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, Costa Rica. Correo de contacto principal: [tjguzman@itcr.ac.cr](mailto:tjguzman@itcr.ac.cr)

## Palabras clave

Piña (*Ananas comosus*, var *comosus*); híbrido MD2; el diagnóstico; dinámica de población; nematodos; modelos matemáticos.

## Resumen

La presente investigación determinó la presencia de géneros, densidad de población y dinámica poblacional de nematodos fitoparásitos en plantaciones de piña (*Ananas comosus*, var. *comosus*) en dos sistemas de cultivos en Costa Rica, período 2006-2008.

El estudio comprendió un diagnóstico a nivel de suelo y raíz en plantas de dos a doce meses de edad que permitiera la determinación de la dinámica poblacional de los nematodos en los diferentes lotes cultivados de piña, durante el lapso de tiempo señalado en sistemas de cultivos convencionales y orgánicos en las regiones Huetar Norte y Huetar Atlántica de Costa Rica. Se seleccionaron lotes comerciales, los cuales fueron muestreados una vez al mes durante febrero a diciembre en los años 2006-2008. Se caracterizaron y cuantificaron los géneros de nematodos encontrados.

El diagnóstico permitió la identificación de siete géneros a nivel de suelo: *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Tylenchus*, *Tylenchorhynchus*, nematodos depredadores y de vida libre, donde el género *Helicotylenchus* spp. el que se indentificó con más frecuencia. La mayor población de nematodos fitoparásitos fue observada a nivel de suelo y correspondió a los géneros *Pratylenchus* spp. y *Helicotylenchus* spp.

Los nematodos más frecuentemente observados en raíces de plantas de piña bajo técnicas orgánicas fueron: *Criconebella* spp., *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp.; en el suelo se presentaron *Helicotylenchus* spp., y *Pratylenchus* spp., con frecuencias del 100%. En raíz y suelo de plantas de piña bajo técnicas convencionales el género *Helicotylenchus* spp. fue el más frecuente. El género *Pratylenchus* spp. presentó la densidad poblacional promedio más alta en la raíz en sistemas orgánicos y convencionales con 1.009,83 y 1.075,22 ind/100 g de raíz, respectivamente.

En las áreas de manejo orgánico se presentó una mayor diversidad de géneros de nematodos en la raíz de la piña, los nueve géneros fitoparásitos que se

observaron fueron: *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Haplolaimus* spp., *Tylenchus* spp., *Criconebella* spp. y *Xiphinema* spp. y nematodos de vida libre, en comparación con muestras de raíz de plantas con manejo convencional donde se presentaron seis géneros fitoparásitos (*Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Nacobus* spp., *Tylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Criconebella* spp.) y nematodos de Vida Libre.

A nivel de raíces, los géneros de nematodos identificados fueron cinco: *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Rotylenchus* spp. y nematodos de vida libre. La mayor población de nematodos fitoparásitos observada a nivel de raíz corresponde a los géneros *Helicotylenchus* spp. con y *Pratylenchus* spp.

Con manejo convencional se presentaron siete géneros de nematodos fitoparásitos (*Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Tylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Criconebella* spp., *Haplolaimus* spp. y *Tylenchorhynchus* spp. y nematodos de vida libre, mientras que en suelo de plantas cultivado con manejo orgánico se presentaron seis géneros fitoparásitos *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Tylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Criconebella* spp. y *Rotylenchus* spp. y nematodos de Vida libre.

## Key words

Pineapple *Ananas comosus*; hybrid MD2; diagnostic; population dynamic; nematodes; mathematical models.

## Abstract

The presence of genera, population density and population dynamics of plant parasitic nematodes in two pineapple plantations (*Ananas comosus* var. *Comosus*) located in Costa Rica, were determined.

The study included the evaluation of soil and roots in plants of two to twelve months with the objective of determine the population dynamics of nematodes in different plots of plantations of pineapple, in conventional and organic farming systems in the Región Huetar Norte and Región Huetar Atlántica of Costa Rica. Commercial lots were carefully chosen, and sampled monthly in the course of February to December in the years 2006, 2007 and 2008.

Every sample was processed for characterization and quantification of plant parasitic nematodes.

The diagnosis allowed the identification of seven genera of plant parasitic nematodes present in soil samples: *Helicotylenchus* spp, *Meloidogyne* spp, *Pratylenchus* spp, *Tylenchus*, *Tylenchorhynchus*. At the same time it was observed free living nematodes. *Helicotylenchus* spp was the most frequently detected nematode. *Pratylenchus* spp. and *Helicotylenchus* spp showed the highest populations in soil samples.

Nematodes more frequently observed in roots of pineapple plants under organic system were *Criconebella* spp, *Helicotylenchus* spp and *Pratylenchus* spp. While *Helicotylenchus* spp. and *Pratylenchus* spp. were observed in the 100% of the soil samples. In roots and soil of pineapple plants under conventional system, *Helicotylenchus* spp. was the most frequently nematode detected. The genus *Pratylenchus* spp. presented the highest population density in the root samples, with an average of 1009.83 individuals/100 g of root in the organic systems, and 1075.22 individuals/100 g of root in the conventional systems.

In the organic managed plantations it was observed a greater diversity of nematodes, nine plant parasitic genera were observed: *Pratylenchus* spp, *Helicotylenchus* spp, *Meloidogyne* spp, *Hoplolaimus* spp, *Tylenchus* spp, *Criconebella* spp. and *Xiphinema* spp. and free-living nematodes too. Whereas in the conventional managed plantations six plant parasitic genera were observed: *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Nacobus* spp., *Tylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Criconebella* spp. and free living nematodes too.

In the root samples, nematode genera identified were five: *Helicotylenchus* spp, *Meloidogyne* spp, *Pratylenchus* spp, *Rotylenchus* spp. and free-living nematodes. The highest population of plant parasitic nematodes observed in root samples corresponds to the genera *Helicotylenchus* spp. and *Pratylenchus* spp.

In conventional managed plantations seven genera of plant parasitic nematodes were observed in soil samples: *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Tylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Criconebella* spp., *Hoplolaimus* spp. *Tylenchorhynchus* spp. and free-living nematodes, while in soil samples of organic managed plantations six genera of plant parasitic nematodes were observed *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus*

spp., *Tylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Criconebella* spp. *Rotylenchus* spp. and free living nematodes.

## Introducción

La piña (*Ananas comosus*, var. *comosus*) es una fruta de alto valor comercial en Costa Rica, que representa el 39% de las exportaciones de piña fresca en el mundo (Fondo para el Desarrollo Integral de la piña y Mitigación de Impacto Ambiental 2005). Los principales mercados son Estados Unidos y Europa en la que el híbrido MD-2 ha tenido una gran aceptación por su agradable sabor, aroma, color y apariencia de la pulpa (Castro, 2004). Este cultivo se ha convertido en un pilar del desarrollo económico y social del país, constituyendo una importante fuente de divisas y empleo en el sector agrícola. Esto se debe a su producción anual, la disponibilidad de suelos aptos para el cultivo, condiciones climáticas favorables e infraestructura apropiada, además del desarrollo e implementación de cambios positivos que se han dado en la preparación de suelos, control de plagas, manejo de la plantación y tecnologías postcosecha, entre otros factores. Todos estos aspectos han estimulado al sector para continuar sus esfuerzos de mejoramiento e incremento de nuevas áreas y nuevas tecnologías para el cultivo de piña.

Los niveles de exportaciones actuales mantienen a Costa Rica como el primer país de exportación de piña fresca a nivel mundial, generando divisas con un valor FOB US\$665,91 millones para el año 2010, según PROCOMER (2001). A su vez, el sector piñero genera cerca de 27 500 empleos directos y 110 000 indirectos para el desarrollo, manejo y comercialización de más de 40 000 hectáreas cultivadas, lo que lo constituye en una de las principales actividades generadoras de fuentes de trabajo (Chaves 2011).

De acuerdo con Castro (2000), a partir del cultivo comercial de variedades como Monte Lirio (criollo) y en paralelo con a la introducción en Costa Rica de la variedad Cayena, la Champaka F-154, y el híbrido MD-2, se fue generado un importante desarrollo tecnológico de la producción de la piña por la aplicación de nuevas técnicas de producción, el uso de maquinaria y equipo especializado.

El desarrollo socioeconómico del entorno inmediato de las zonas donde se ubican las empresas

y productores comerciales, ha tenido un auge, con el surgimiento de otras actividades sociales y productivas que complementan la producción de piña, que se traduce en el desarrollo de una producción combinada, con el apoyo de mano de obra calificada, contribuyendo así al desarrollo social y económico, de las zonas productoras y del país.

La literatura sobre problemas fitosanitarios de la piña en Costa Rica, con frecuencia hace referencia a los principales patógenos de cultivo. Castro (2000), menciona Cochinilla harinosa (*Dysmicoccus brevipes*), Sinflidos (*Scutigerella immaculata*), Tecla (*Strymon basilides*), Caracoles (*Opeas pumilum*), roedores (*Signodon hispidus*), Elaphria (*Elaphria nucicolora*) y hormigas (*Atta sp.*); sin embargo pocos investigadores y productores mencionan los nematodos como un problema cotidiano. Según Castaño (1994), raramente cualquier cultivo se encuentra libre de nematodos fitoparásitos y su presencia generalmente pasa desapercibida debido a su tamaño microscópico y posición protegida en el suelo.

La presencia de poblaciones iniciales de nematodos en plantaciones antes de sembrar en cultivos anuales, usualmente tienen relación con los rendimientos de las cosechas (Schomaker y Been 1998 citado por Hernández, 1998).

Por tal motivo, el Centro de Investigación y Desarrollo para Agricultura Sostenible del Trópico Húmedo (CIDASTH) y la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) han orientado recursos del proyecto "Prospección, caracterización y evaluación de las relaciones de organismos benéficos para el control de nematodos patógenos en condiciones del trópico", enfocado en el cultivo de piña, para determinar la condición actual de las plantaciones de las regiones Huetar Norte y Atlántica en dos sistemas de cultivos diferentes, para definir con precisión la incidencia de los nematodos fitoparásitos y la dinámica de la población de nematodos asociados al cultivo de piña híbrido MD-2 en plantaciones manejadas con técnicas de producción orgánica y producción convencional.

## Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en dos ambientes: plantación convencional y orgánica, ambas del híbrido MD-2, cultivadas en dos regiones,

la región Huetar Norte y la Atlántica. Las muestras de suelo y raíz de ambas plantaciones fueron extraídas de las fincas Corsicana y Transunión, la primera ubicada en Llano Grande y la otra en Pueblo Nuevo, Sarapiquí, Heredia. En la región Huetar Norte se trabajó en la Finca El Tremedal, ubicada en Venecia de San Carlos, Alajuela. Los análisis de nematodos se realizaron en el Laboratorio de Nematología del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede de San Carlos en Santa Clara.

La Finca Corsicana se encuentra geográficamente situada entre las coordenadas 10° 26' 40" - 08° 28' 10" latitud Norte y 84° 09' 40 - 84° 07' 00" longitud Este, a una altitud aproximada de 100-150 metros sobre el nivel del mar (msnm), en terrenos regularmente planos con pequeñas depresiones junto a las quebradas y pequeñas lagunas, con una vegetación principalmente riparia, parches de bosques y algunas tierras reforestadas.

La finca Transunión se encuentra situada a 10° 29' 23" latitud Norte y 83°56' 15" longitud este, a una altitud aproximada de 100 y 150msnm.

La finca El Tremedal, se encuentra situada a 10° 26 latitud Norte y 84° 15 longitud Este, a una altitud aproximada de 320 msnm. La humedad relativa promedio es de 80 %, las precipitaciones oscilan entre 3.500 y 4.000 mm al año, y la temperatura promedio es de 24° C.

## Periodo de ejecución de la investigación.

La investigación se llevó a cabo en etapas simultáneas en el campo y en el laboratorio, durante el período comprendido entre marzo del 2006 y hasta el mes de octubre del 2008, realizando muestreos sistemáticos cada treinta días en cada lugar.

## Actividades de cultivo aplicadas en la agricultura convencional

Se aplicó un herbicida postemergente, seguido de dos pases consecutivos de rastra y la aplicación de encalado (dolomita), otro pase de rastra y uno de subsolador. Las plantas se establecieron en el sistema de siembra de camas en doble hilera, mediante el sistema en tresbolillo, con 1,12 m entre centro y centro de camas, 0,48 m entre cada par de hileras, 0,25 m entre plantas, para una densidad de siembra de 68 000 plantas/ha. Se sembró semilla hijo tipo guía de 750 gramos, tratada con Diazinon

(Diazinon) y Aliette (Fosetil Aluminio). Se aplicó fertilizante granular a razón de 30kg/ha, y nematicida granulado Mocap 15 (ingrediente activo Etoprofos: 0-etil S,S-dipropil fosforoditioato).

### Actividades de cultivo aplicadas en la alternativa orgánica

El área en estudio fue mecanizada mediante un pase de rastra incorporando los restos del cultivo anterior; seguidamente se sembró mucuna (*Mucuna pruriens*), la cual permaneció cultivada por tres meses. La mucuna se incorporó al suelo mediante dos pases del triturador y el terreno se dejó en descanso por 45 días. Seguidamente se realizaron dos pases de rastra separados por una aplicación de cal (dolomita) y un pase de subsolador. Previo a la colocación de la cobertura de polietileno negro se realizó el encamado y sobre las camas se aplicó harina de sangre (220kg/ha). Las plantas se establecieron bajo el método de siembra de camas, cultivadas a doble hilera mediante el sistema en tresbolillo con distanciamientos de 1,2 metros entre centro y centro de cama, 0,45 a 0,5 entre cada par de hileras y 0,3 metros entre plantas, para una densidad de siembra de 66 443 plantas/ha. El tipo de semilla utilizada varió según cada bloque (guía y basal), no se realizó tratamiento para el control de enfermedades y plagas en la semilla. La inducción floral se realizó a los diez meses de edad de plantación.

### Muestreo por tipo de producción convencional y orgánica

Los muestreos se realizaron de manera sistemática según la ubicación de los lotes cultivados, los cuales fueron seleccionados previamente. Se utilizaron cinco plantas, seleccionadas en zigzag dentro de cada lote, para formar una muestra compuesta de cada uno de ellos.

Se obtuvo una muestra compuesta como resultado de cinco submuestras tomadas en el área equivalente al lote seleccionado previamente (figura 1). En cada punto de muestreo se hizo la extracción de una planta completa, se cortó la parte radical de la misma y se recolectó el suelo correspondiente a 20 cm de profundidad. El suelo y la raíz se colocaron en bolsas plásticas y se trasladaron al laboratorio.

El primer muestreo se realizó 30 días después de la siembra (dds) y los subsecuentes en periodos similares de 30 días hasta el duodécimo mes. Los muestreos se realizaron simultáneamente en los dos sistemas de producción.

En el cuadro 1 se identifican los bloques seleccionados, el área y la densidad poblacional por plantación (orgánica y convencional).

### Procedimiento de la extracción de nematodos en el laboratorio

La extracción de los nematodos se realizó por tipo de muestra (suelo y raíz) y los métodos aplicados y sus procedimientos fueron los siguientes:

#### Embudo de Baermann para la obtención de nematodos en suelo

La extracción de nematodos en suelo se realizó mediante la técnica del embudo de Baermann modificado (Esquivel, 2005). Este método consistió en pesar 25 g de suelo homogeneizado después de eliminar otros desechos. Las muestras de suelo se colocaron en un papel filtro, sostenido por un embudo con una manguera adherida a la parte inferior; en el cual se colocó un vial para recoger los nematodos. A cada muestra se le adicionó agua hasta 1 cm por encima de la parte superior del embudo y se dejó reposar durante 72 horas. Después de este periodo se recogió el vial que contenía aproximadamente 5 ml de solución, se homogeneizó y se tomó una alícuota de 3 ml para el conteo e identificación en el microscopio invertido.

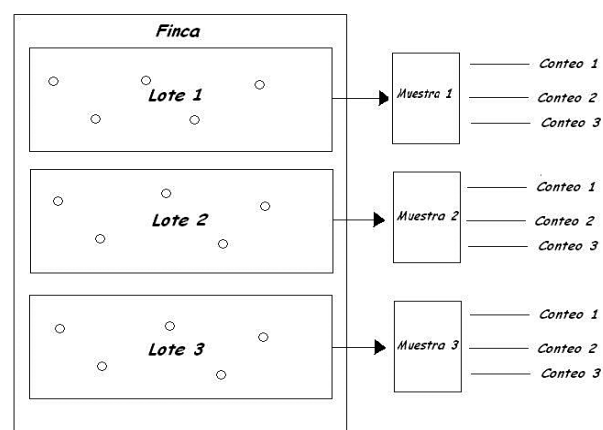


Figura 1. Esquema de la toma de muestras en cada lote.

Cuadro 1. Identificación de área experimental por finca y tipo de plantación.

Tipo de plantación/ Identificación de Finca	Lote comercial N°	Área (hectáreas)	Número de plantas/ha
Orgánica (Corsicana)	75	0,44	29 505
	75	0,33	22 070
	79	0,59	39 288
	81	0,58	38 284
	85	0,43	28 632
	86	0,43	28 632
Convencional (Transunión)	3	0,31	21 080
	8	0,20	13 600
	9	0,45	30 600
	18	0,36	24 480
	20	0,28	19 040
	24	0,28	19 040
	25	0,28	19 040
Convencional (Tremedal)	3	0,13	98 000
	9	0,15	11 400
	10	0,14	10 640
	14	0,13	98 000
	15	0,17	12 920
	16	0,18	10 000
	17	0,13	98 000
	18	0,15	11 400
	22	0,13	98 000
	43	0,17	12 920
	46	0,15	12 920

### **Método de Tamizado-Centrifugado y flotación con azúcar para la obtención de nematodos en raíz**

Las raíces provenientes del muestreo en el campo fueron sometidas a lavado; se cortaron y pesaron muestras de 25 g. El método aplicado fue de centrifugado-tamizado. Cada una de las muestras fue licuada durante diez segundos a velocidad baja y cinco segundos a velocidad alta. La solución obtenida del licuado fue decantada sobre un juego de cribas superpuesto de 35, 100, 170, 400 y 500 mallas. Con la ayuda de una piseta se transfirieron los residuos retenidos en la criba de 500 mallas a tubos de ensayo. Se colocaron los tubos de ensayo en una centrifugadora. Se procedió a centrifugar por cinco minutos a 3 000 rpm. Después de la centrifugación se decantaron los sobrenadantes y se agregó

una solución azucarada (484 g de azúcar aforada en un litro de agua). Luego de resuspender las raíces nuevamente, se centrifugaron a la misma velocidad por tres minutos. El sobrenadante conteniendo los nematodos fue vertido sobre una criba de 500 mallas y se lavó el exceso de azúcar adherida a los nematodos con suficiente agua. Una vez enjuagada el azúcar, se recolectaron los nematodos del tamiz con la ayuda de la piseta en un vial, para proceder a su observación e identificación. Para el conteo se vertió la solución en un beaker de 100 ml y se aforó a 50 ml.

### **Procedimiento para la cuantificación de nematodos**

El conteo de nematodos se realizó en el laboratorio en un portaobjeto especial al cual se le agregaron

tres mililitros de solución extractora y se colocó en el microscopio para su cuantificación.

Las variables evaluadas fueron:

1. Frecuencia de nematodos en raíz y suelo por género y edad de plantación en piña orgánica y convencional.
2. Cantidad de nematodos en raíz y suelo por género y edad de plantación en piña orgánica y convencional.
3. Nematodos de vida libre.

### Análisis de datos

Los datos relacionados con la cantidad de nematodos por género y edad de plantación, fueron analizados por medio de la estadística descriptiva y análisis de varianza factorial utilizando la media y frecuencia en varios paquetes estadísticos, entre ellos, ajustes de curvas y SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

### Resultados y discusión.

La identificación de los nematodos que se encontraron en las fincas orgánicas y convencionales en Costa Rica en las zonas analizadas se observa en los cuadros 2 y 3.

Dinámica de la población y frecuencia de nematodos en raíz y suelo en las plantaciones de piña orgánica, en la finca Corsicana en Sarapiquí.

### Frecuencia de los nematodos en las raíces

Se destacó la presencia de los géneros de *Criconemella* spp., *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp. y nematodos de vida libre, con un 100% (figura 2).

En el caso del nematodo *Criconemella* spp. se ha considerado que es un parásito de la piña de importancia económica (Sasser 1989) por la transmisión de virus. Según Valiente, citado por Hernández (1998), en el caso del *Helicotylenchus* spp. es un nematodo ectoparásito, que puede actuar como endoparásito migratorio, que completa su ciclo en la raíz, lo que explica su comportamiento tanto en la raíz como en el suelo. *Pratylenchus* spp. se le llama el nematodo de la lesión de la raíz (Godfrey 1929 citado por Luc et al. 2005); se trata de un nematodo endoparásito migratorio, que normalmente se puede observar dentro de las raíces y se alimentan de ellas antes de emigrar (Costa, Gandoy citado por Hernández y Ortega, 1998, citado por Roman Godfrey 1978), Castro (2000).

El nematodo *Meloidogyne* spp. se presentó con una frecuencia de 71,43% y correspondió con el tipo más frecuentemente observado en el presente estudio, ocupando el segundo lugar, a partir del tercer mes, y hasta el final del ciclo del cultivo (Jesse 1976). Este género es un endoparásito, que penetra en la raíz y coloca sus huevos en ella (Sasser 1989). Las etapas juveniles infectan las raíces principales de las plantas y después de dos o tres días permanecen

Cuadro 2. Presencia (+) o ausencia (-) de nematodos del cultivo de la piña híbrido MD-2 en fincas orgánicas y fincas convencionales. Costa Rica. 2006-2008.

Géneros de Nematodos	100 gramos de raíz		100 gramos de suelo	
	Fincas orgánicas	Fincas convencionales	Fincas orgánicas	Fincas convencionales
<i>Pratylenchus</i> spp.	+	+	+	+
<i>Helicotylenchus</i> spp.	+	+	+	+
<i>Meloidogyne</i> spp.	+	+	+	+
<i>Tylenchus</i> spp.	+	+	+	+
<i>Criconemella</i> spp.	+	+	+	+
<i>Xiphinema</i> spp.	+	-	-	-
<i>Tylenchorhynchus</i> spp.	+	-	-	+
<i>Hoplolaimus</i> spp.	+	-	-	-
Vida libre	+	+	+	+



en ellas de manera sedentaria, Jesse (1976) y (Godfrey y Oliveira 1932, citado por Luc et al. 2005 y Romano 1978).

*Tylenchus* spp. se presentó en con un 42,86% de las muestras observadas a partir del cuarto mes de edad en adelante.

Los nematodos que se observaron con menor frecuencia en muestras de raíces bajo manejo orgánico fueron: *Hoplolaimus* spp., limitado a las plantas de cinco meses (14,29%), el género *Tylenchorhynchus* spp. se presentó con un porcentaje de frecuencia de 14,29% en el séptimo mes y el género *Xiphinema* spp. con una frecuencia de 14,29% en el quinto mes de edad del cultivo.

La dinámica de los nematodos encontrados en las raíces en un sistema orgánico en la finca Corsicana

y sus respectivos modelos matemáticos se muestran en las figuras 3, 4 y 5. En los tres casos, independientemente del ajuste del modelo, se puede notar que el aumento del nivel de las poblaciones de los nematodos fitoparásitos en el tiempo, es creciente.

### Frecuencia de nematodos en el suelo en plantaciones de piña orgánica

En suelo bajo manejo orgánico aparecen seis géneros de nematodos parásitos y de vida libre (figura 6).

Los géneros *Helicotylenchus* spp. y *Pratylenchus* spp. fueron las más frecuentemente observadas con un porcentaje de 100% durante los siete meses de investigación en el cultivo, según lo que indican Tarjan (1967), Tarte (1970) y Hendley, (2003).

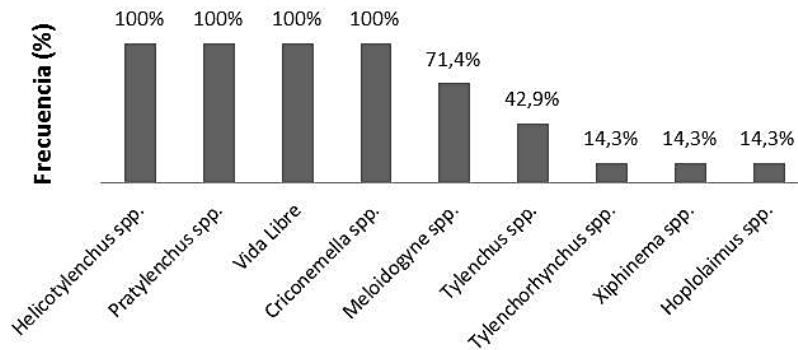


Figura 2. Frecuencia porcentual de la presencia de nematodos de cada género existente en raíces de las plantas de A. comosus híbrido MD-2 con las técnicas de producción orgánica.

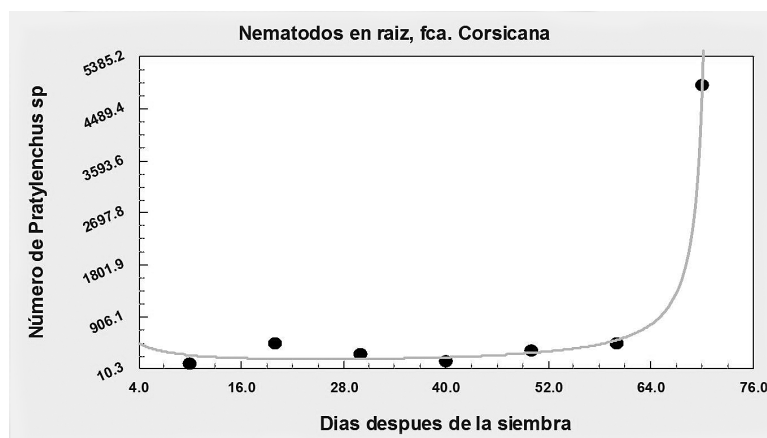


Figura 3. Ecuación racional de *Pratylenchus* sp. en raíz de piña orgánica (Corsicana):

$$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}; \text{ Coeficientes de los datos :} R = 0.99; a = 3860.2636; b = 119.17991; c = 2.2758377.$$

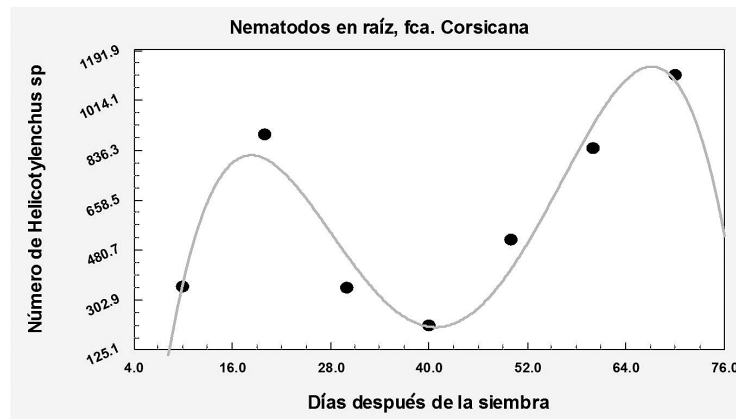


Figura 4. Ecuación polinómica de cuarto grado de *Helicotylenchus* sp. en raíz de piña orgánica (Corsicana):  $y=a+bx+cx^2+dx^3$ . Coeficientes de los datos:  $R=0.98$ ;  $a=-2230.5714$ ;  $b=427.87002$ ;  $c=-20.149167$ ;  $d=0.36004545$ ;  $e=-0.0021409091$ .

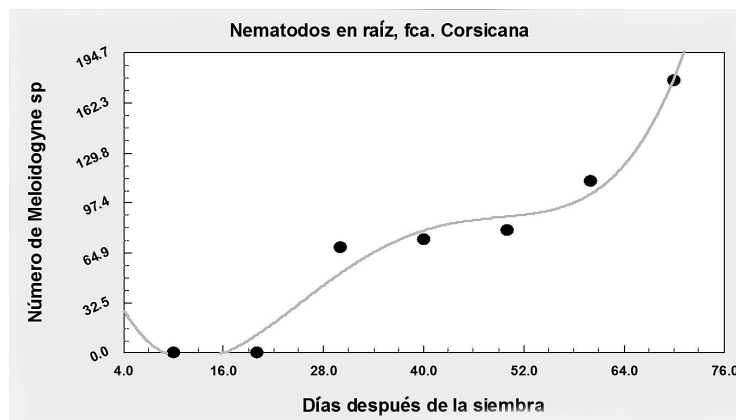


Figura 5. Ecuación polinómica de cuarto grado de *Meloidogyne* sp. en raíz de piña orgánica (Corsicana):  $y=a+bx+cx^2+dx^3$ . Coeficientes de los datos:  $R=0.98$ ;  $a=75.714286$ ;  $b=-15.574892$ ;  $c=0.95$ ;  $d=-0.019106061$ ;  $e=0.00012878788$ .

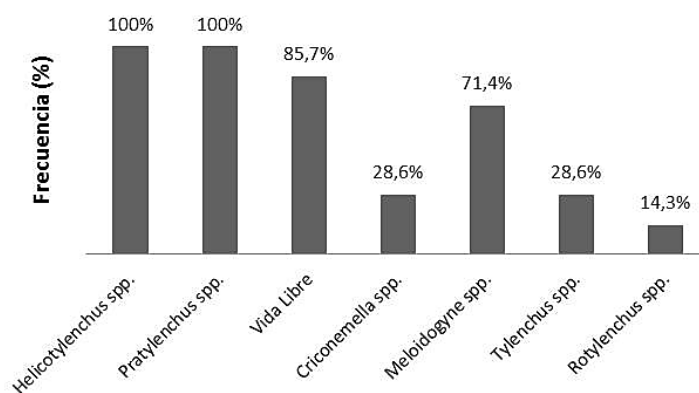


Figura 6. Porcentaje de frecuencia de la presencia de géneros existentes de nematodos en el suelo de las plantaciones de *A. comosus* híbrido MD-2 bajo la técnica orgánica, en la finca Corsicana, Sarapiquí.

El nematodo *Meloidogyne* spp. se presentó con una frecuencia de 71,43% en el suelo.

*Rotylenchus* spp. fue observado únicamente en suelo con una frecuencia porcentual de 14,87% al quinto mes de edad; según Sasser (1989), menciona que es un nematodo semiendoparásito, lo que significa que la hembra penetra la raíz para establecer un sitio de alimento permanente quedando sedentaria o inmóvil.

Con respecto al manejo orgánico los géneros *Hoplolaimus* spp., *Tylenchorhynchus* spp. y *Xiphinema* spp. fueron observados únicamente en muestras de raíz; contrariamente *Rotylenchus* spp. el cual fue observado únicamente en muestras de suelo.

En las figuras 7, 8 y 9, se pueden observar los modelos matemáticos encontrados en función de la dinámica poblacional de los nematodos en el suelo:

Al evaluar el número de nematodos totales en raíz y suelo en la finca Corsicana, se puede observar un incremento de las poblaciones en el tiempo de manera ascendente (figuras 10 y 11).

### Frecuencia de nematodos en las plantaciones de piña en un sistema de cultivo convencional en la finca Transunión, Sarapiquí

#### Nematodos en las raíces

En las raíces de las plantaciones de piña manejadas con técnicas convencionales se identificaron seis

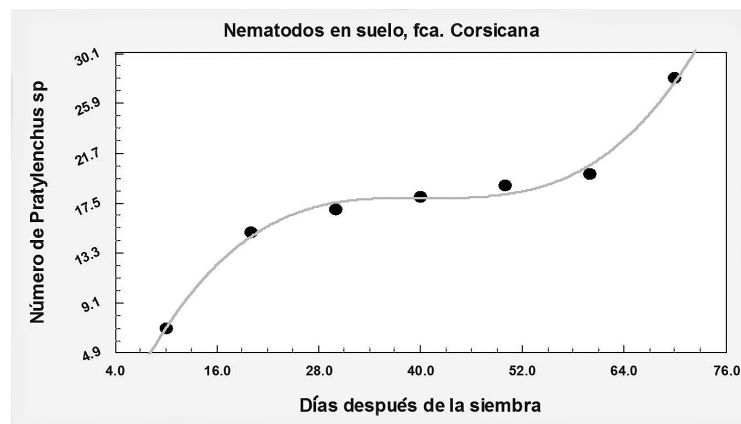


Figura 7. *Pratylenchus* spp. en suelo de finca orgánica (Corsicana):  
Ecuación polinómica de tercer grado:  $y=a+bx+cx^2+dx^3$ . Coeficientes de los datos:  $R=0.99$ ;  $a=-6.5714286$ ;  $b=1.7261905$ ;  $c=-0.041190476$ ,  $d=0.00033333333$

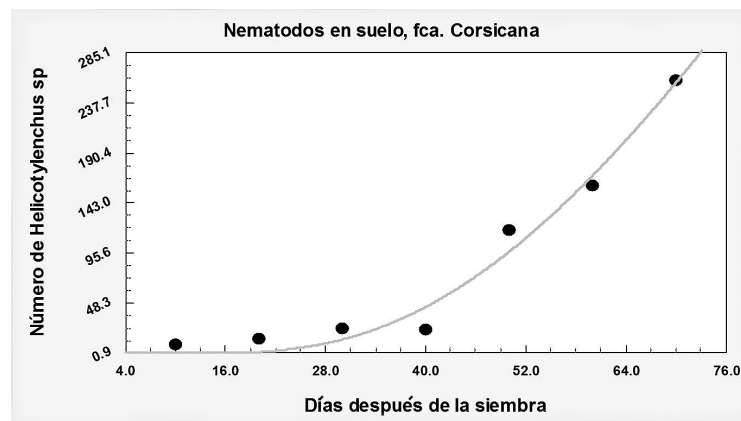


Figura 8. *Helicotylenchus* spp. en suelo de finca orgánica (Corsicana):  
Ecuación de ajuste de potencia:  $y=aX^b$ ; Coeficientes de los datos:  $R=0.98$ ;  $a=0.81056512$ ;  $b=2.9662088$ .

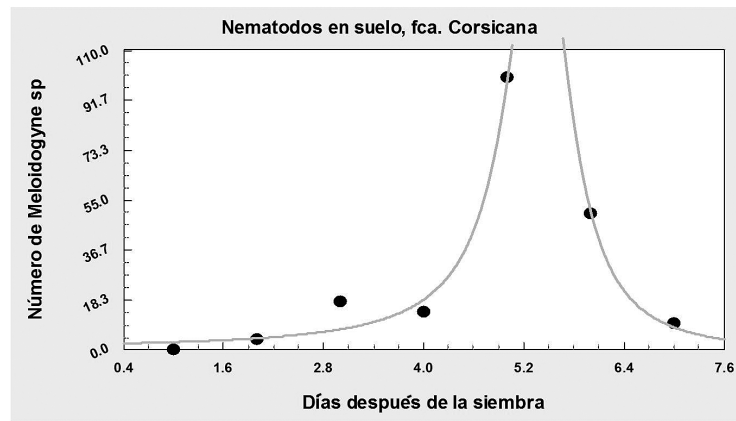


Figura 9. Meloidogyne spp en suelo de finca orgánica (Corsicana): Ecuación racional  $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.99$ ;  $a =2.0960185$ ;  $b =-0.18770537$ ;  $c =-0.36880623$ ;  $d =0.034225079$

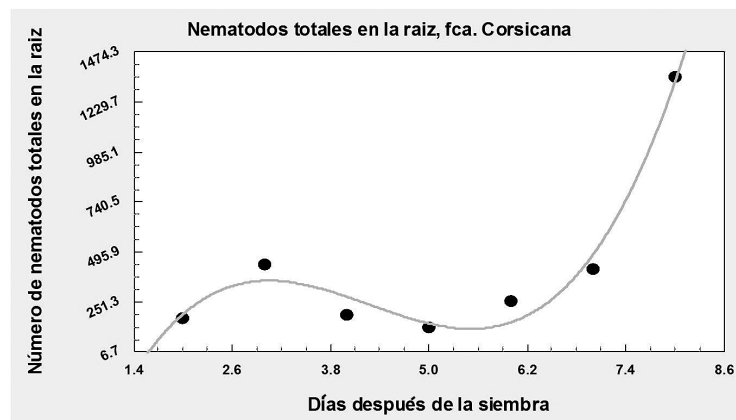


Figura 10. Nematodos totales en raíz de plantaciones orgánicas (Corsicana). Ecuación polinomial de Tercer grado:  $y=a+bx+cx^2+dx^3$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.98$ ;  $a=-1606.2143$ ;  $b=1581.4286$ ;  $c=-403.71429$ ;  $d =31.5$ .

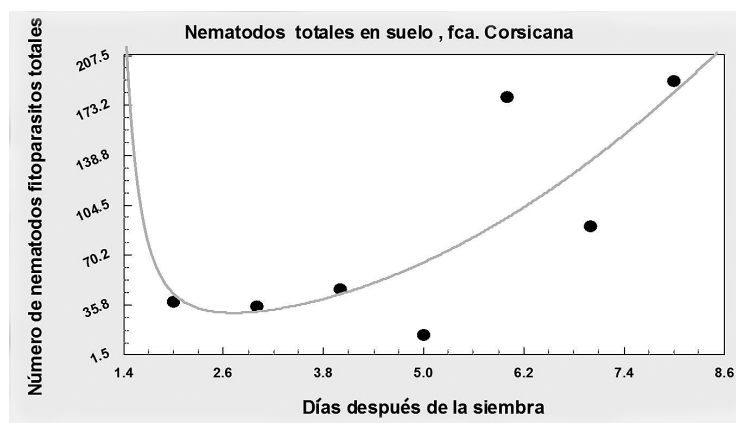


Figura 11. Nematodos totales en el suelo de plantaciones orgánicas (Corsicana). Ecuación geométrica modificada:  $Y= ax^{-b/x}$ . Coeficientes de los datos:  $R=0.79$ ;  $a=13552.258$ ;  $b=16.574642$ .

géneros parasitarios. En la figura 6 se muestra la frecuencia observada.

El nemátodo *Helicotylenchus* spp. fue observado en el 100% de las muestras durante todos los meses, con mayor frecuencia en la raíz de la plantación convencional (Quesada y Barboza 1999).

El género *Pratylenchus* spp. se presentó con una frecuencia de 85,71%, correspondiente al segundo género más parasitario. La frecuencia de *Meloidogyne* spp. fue del 71,43% y se observó después del tercer mes y hasta el séptimo mes de edad. *Criconemella* spp. se observó durante los últimos tres meses del cultivo, con una frecuencia de 42,83%. El género *Tylenchus* spp. se observó en los primeros meses y hasta el sexto mes con una frecuencia del 42,83%, como se observa en la figura 12.

### Dinámica de la población en las raíces y los modelos matemáticos de los principales nematodos parásitos

Los modelos matemáticos del comportamiento de los nematodos parásitos en la raíz de la piña en un sistema convencional se pueden ver en las figuras 13, 14, 15 y 16.

### Frecuencia de nematodos en el suelo en la finca Transunión.

En la figura 17, se muestra el detalle de los géneros de nematodos encontrados en el suelo de las plantaciones de piña manejada con técnicas convencionales. Se han encontrado siete géneros de nematodos parásitos y de vida libre.

El género *Helicotylenchus* spp., fue el más frecuente, seguido por el género *Pratylenchus* spp. con el 71,43%.

La frecuencia con que se observaron *Criconemella* spp., *Hoplolaimus* spp. y *Tylenchus* spp. fue del 28,6% al final del período de cultivo. *Tylenchorhynchus* spp. fue el género de menor frecuencia, con 14,3%. Tanto *Hoplolaimus* spp. como *Tylenchorhynchus* spp. solo se observaron en las muestras de suelo.

Las ecuaciones o modelos matemáticos encontrados con la dinámica poblacional de los nematodos fitoparásitos principales encontrados en el suelo en la Finca Transunión se pueden observar en las figuras 18 y 19; ellos fueron *Pratylenchus* spp. y *Helicotylenchus* spp. A pesar de que se encontró *Meloidogyne* spp., este parásito mostró un comportamiento de crecimiento muy bajo, por lo cual no se presenta la ecuación.

Los Nematodos totales encontrados en el suelo en la finca Transunión, se pueden observar en la figura 20.

### Frecuencia de nematodos en raíz y suelo en las plantaciones de piña en sistema convencional, en San Carlos en la finca El Tremedal.

En las raíces de las plantaciones de piña manejadas con el sistema de cultivo convencional en esta finca se identificaron los nematodos *Helicotylenchus* spp., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Rotylenchus* spp. y de vida libre (figura 22). El resto de los nematodos del suelo y las raíces se comportaron de igual manera que en la Finca Transunión en las plantaciones convencionales.

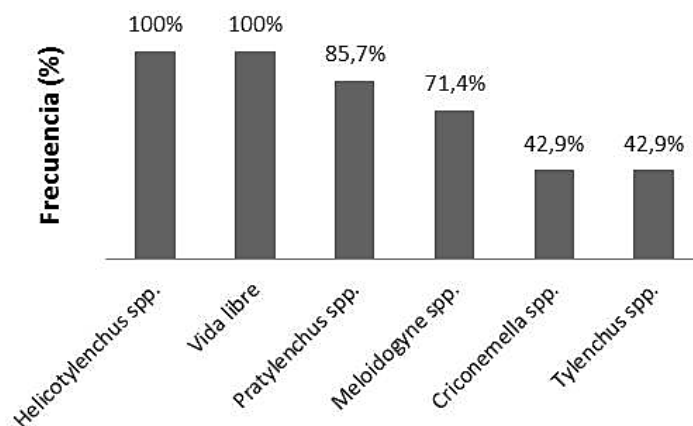


Figura 12. Porcentaje de frecuencia de la presencia por género de nematodos en plantas de *A. comosus* híbrido MD-2, bajo las técnicas convencionales de producción de uno a siete meses en la finca Transunión. Costa Rica 2006-2008.

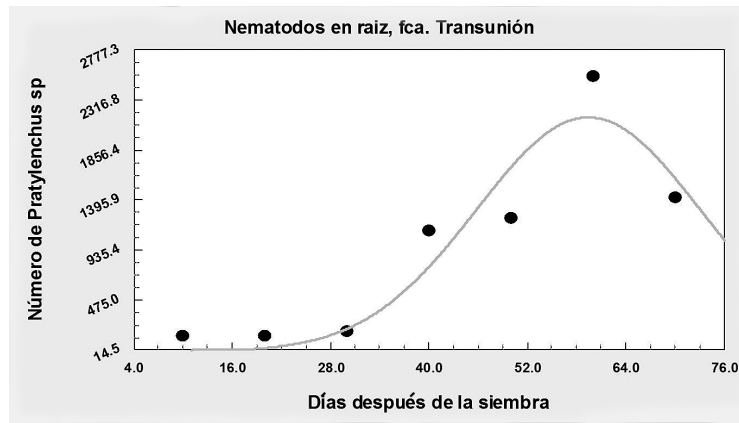


Figura 13. Pratylenchus spp. en la raíz en plantaciones convencionales (Transunión).  
Ecuación de Gauss.  $y = a * \exp ((- (b-x)^2) / (2 * (c)))$  Coeficientes de los datos: R=0.94; a=2159.5454; b=59.381009; c=13.623297

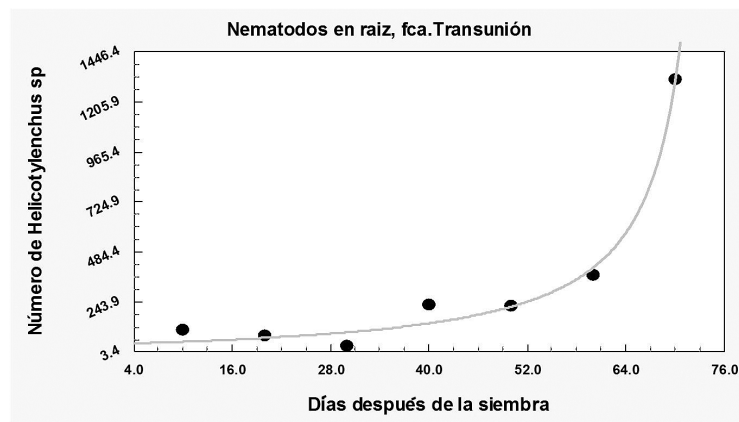


Figura 14. Helicotylenchus spp. en la raíz en plantaciones convencionales (Transunión)  
Ecuación logística:  $y = a / (1 + b * \exp(-cx))$ . Coeficientes de los datos: R=0.99; a=-154.2826; b=-4.8180055; c=0.0208784

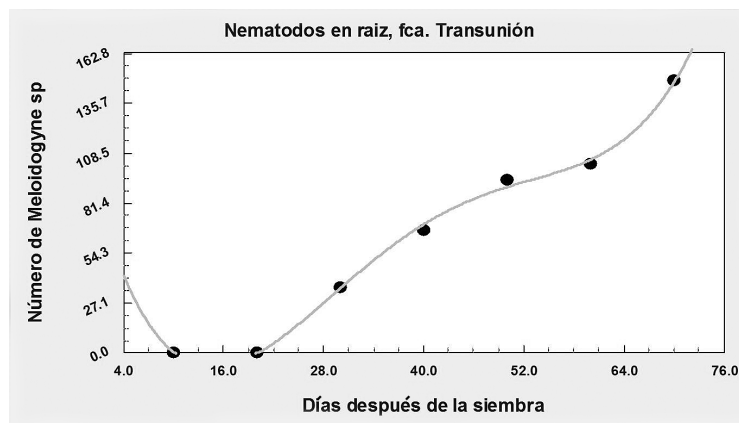


Figura 15. Meloidogyne spp. en la raíz en plantaciones convencionales (Transunión).  
Ecuación polinomial de cuarto grado  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ . Coeficientes de los datos: R= 0.99; a =96.857143; b=-17.064105, c=0.88791667; d=-0.015815657, e=9.6590909e-005

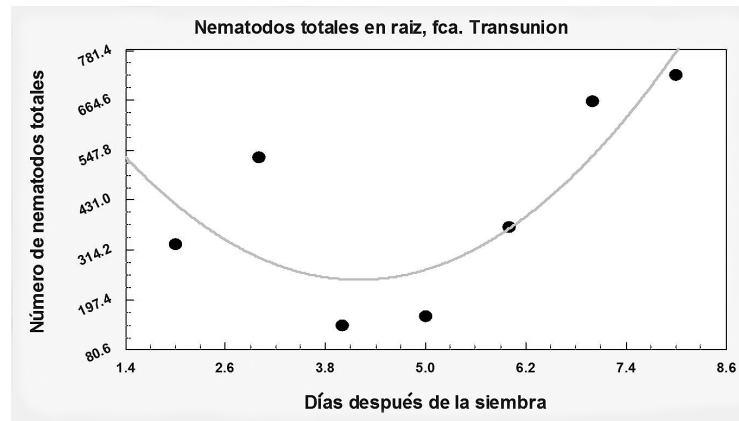


Figura 16. Número de nematodos totales en la raíz en plantaciones convencionales (Transunión).  
Ecuación cuadrática:  $y=a+bx+cx^2$ . Coeficientes de los datos:  $R=0.81$ ;  $a=890.57143$ ;  $b=-308.54762$ ,  $c=36.833333$

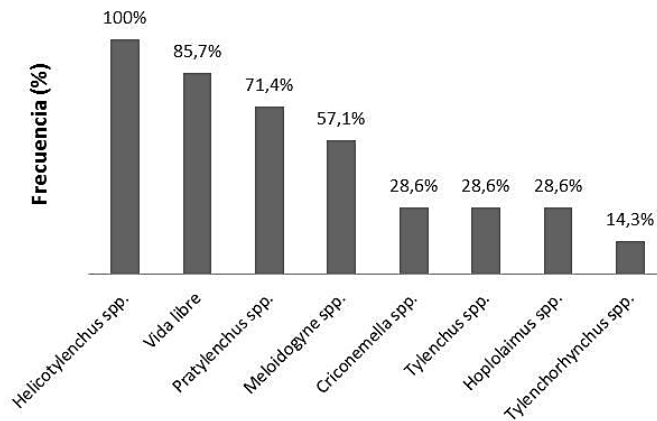


Figura 17. Porcentaje de frecuencia de la presencia por género existente de nematodos del suelo en las plantas de A. comosus híbrido MD-2 de uno a siete meses de edad, bajo las técnicas convencionales de producción en la finca Transunión, Costa Rica, 2006-2008.

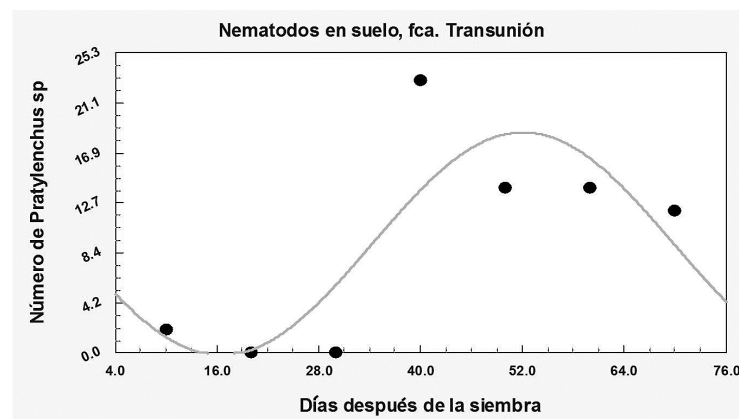


Figura 18. Dinámica de Pratylenchus spp. en el suelo en las plantaciones convencionales (Finca Transunión). Costa Rica. 2006-2008.  
Ecuación sinusoidal:  $y=a+b*\cos(cx+d)$ . Coeficientes de los datos:  $R=0.81$ ;  $a=9.2149524$ ;  $b=9.407341$ ;  $c=0.08843739$ ;  $d=1.6835264$ .

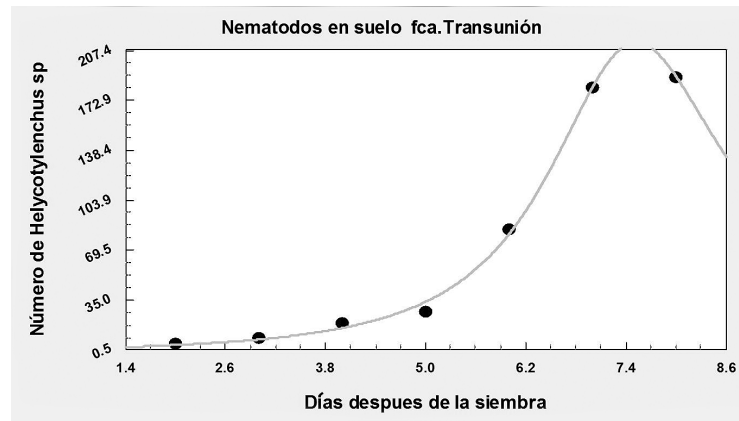


Figura 19. Dinámica de Helicotylenchus spp en el suelo en las plantaciones convencionales (Finca Transunión). Costa Rica. 2006-2008.

Ecuación racional:  $y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.99$ ,  $a=0.49752355$ ;  $b=0.80491064$ ;  $c=-0.26162284$ ;  $d=0.017651931$

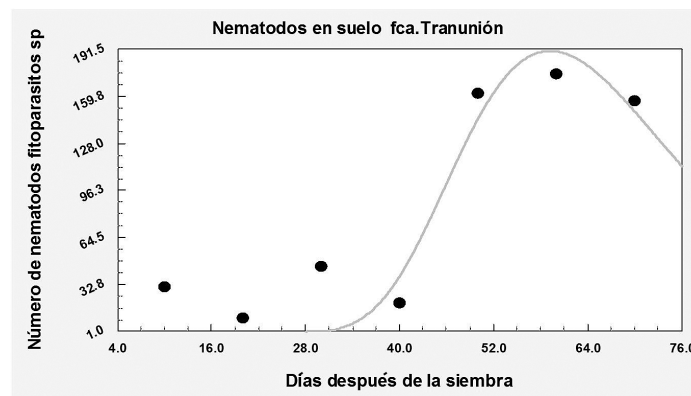


Figura 20. Dinámica de nematodos totales encontrados en el suelo en las plantaciones convencionales (Finca Transunión). Costa Rica. 2006-2008.

Ecuación presión de vapor :  $y= \text{Exp} (a+b/x+\ln(x))$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.93$ ;  $a =97.76086$ ;  $b =-1077.0828$ ;  $c =-18.210742$

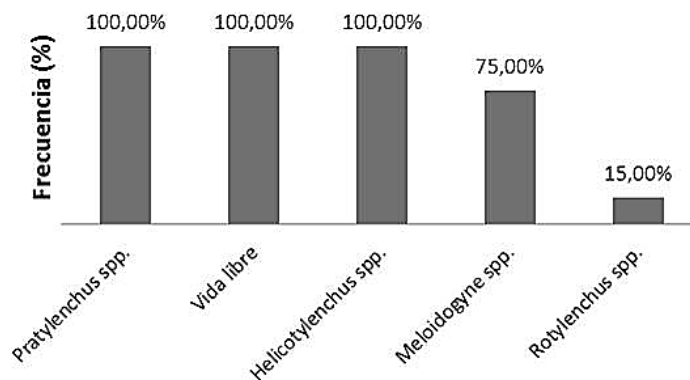


Figura 22. Nematodos parásitos que se encuentran en la finca El Tremedal de San Carlos. Costa Rica. 2006-2008.



Los modelos de la dinámica de los nematodos en la raíz del cultivo de la piña en plantaciones de cultivo convencional en la Finca El Tremedal se muestran en las figuras 23 y 24.

Al realizar un análisis de los nematodos encontrados en el suelo en la finca el Tremedal se puede observar un comportamiento ascendente en el tiempo y con una tendencia al aumento de las poblaciones tanto de *Pratylenchus* spp, como de *Helicotylenchus* spp. Los modelos matemáticos que explican dicho comportamiento se pueden observar en las figuras 25 y 26.

En general, el número de nematodos encontrados en el suelo de todos los géneros fue menor al de los encontrados en el interior de las raíces, aunque la población siempre fue creciente.

### Comparación de nematodos en las raíces y el suelo entre los sistemas de cultivos orgánico y convencional en las fincas Corsicana, Transunión y El Tremedal

La comparación entre los nematodos encontrados en el suelo y en la raíz de las plantas, se puede observar en el figura 27.

#### En las raíces en ambos sistemas

En la figura 27 se muestra la frecuencia de nematodos en muestras de raíces de plantas conforme a las técnicas de producción orgánica y convencional. Había más nematodos en el manejo orgánico, con

nueve géneros en comparación con el tratamiento convencional en el que hubo seis géneros parasitarios y en ambos siempre se presentaron los de vida libre.

En la plantación orgánica, los nematodos fitoparásitos (*Helicotylenchus* spp.; *Pratylenchus* spp. y *Criconemella* spp.) mostraron frecuencias del 100%, al igual los nematodos de vida libre.

El *Helicotylenchus* spp. y los nematodos de vida libre se observaron tanto en el manejo orgánico como en el convencional, con una frecuencia de 100. Esto muestra un resultado similar a un estudio realizado por León (2007) en muestras de raíces de las plantas convencionales de piña tomada en diciembre a la edad de doce meses en la finca El Tremedal en San Carlos, en la que el género *Helicotylenchus* spp. y los nematodos de vida libre, aparecen en todas las épocas de los muestreos que se realizaron.

El género *Pratylenchus* spp. se observó en las raíces de piña orgánica con una frecuencia de 100%, mientras que en sistema convencional se presentó con una frecuencia de 85,71%, este género fue identificado por León (2007) con una frecuencia de 90,9%, en las raíces de las plantas de piña en edades de uno a doce meses.

En las raíces de las plantaciones con el sistema orgánico se observaron los géneros *Criconemella* spp. y *Meloidogyne* spp., con un 100% y un 42,86% respectivamente; mientras que en el tratamiento convencional y orgánico *Meloidogyne* spp. se presentó con

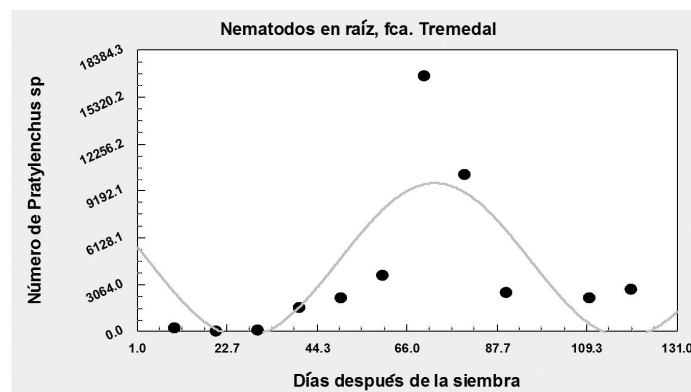


Figura 23. Dinámica de *Pratylenchus* spp. en la raíz en las plantaciones convencionales en la finca El Tremedal. Costa Rica.2006-2008.

Ecuación de ajuste sinusoidal:  $y=a+b*\cos(cx+d)$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.76$ ;  $a =4668.6474$ ;  $b =5032.2794$ ;  $c =0.068244686$ ;  $d =-4.953598$

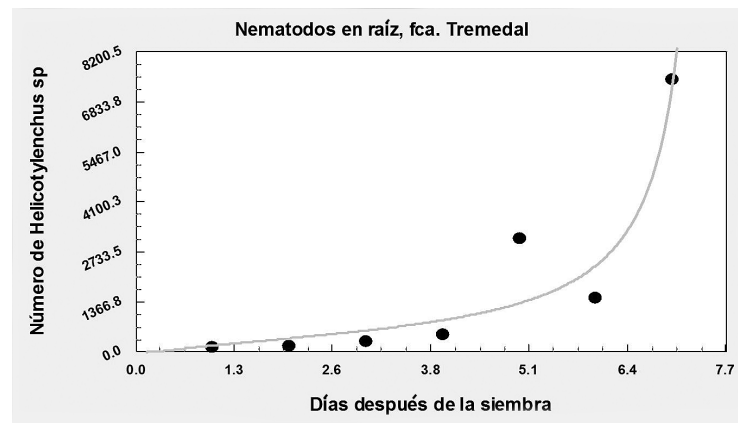


Figura 24. Dinámica de Helicotylenchus spp. en la raíz en las plantaciones convencionales en la finca El Tremedal. Costa Rica.2006-2008.

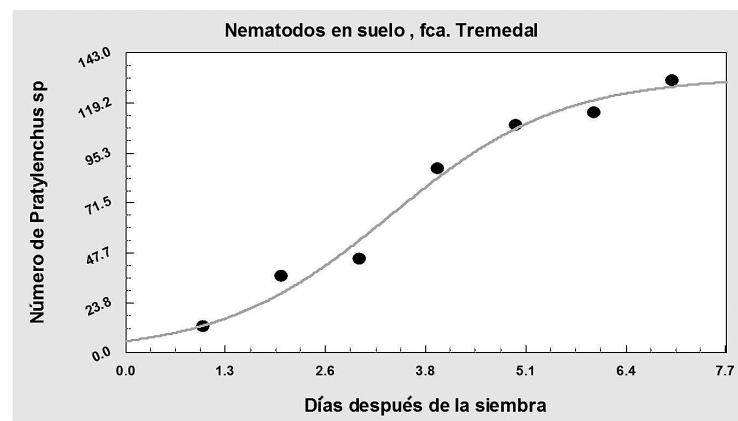


Figura 25. Dinámica de Pratylenchus spp. en el suelo en las plantaciones convencionales (Finca El Tremedal). Costa Rica. 2006-2008.

Ecuación logística:  $y=a/(1+b*\exp(-cx))$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.99$ ;  $a =131.68023$ ;  $b =22.565455$ ;  $c=0.91735512$

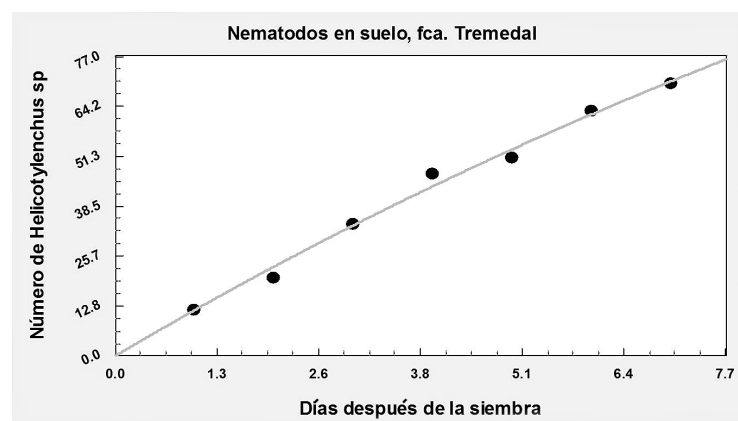
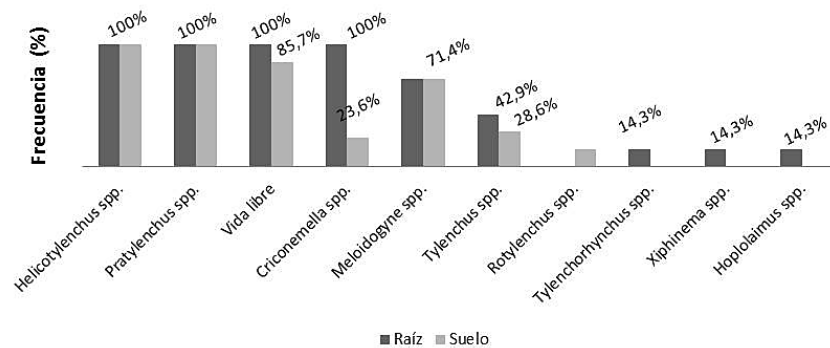


Figura 26. Dinámica de Helicotylenchus spp. en el suelo en las plantaciones convencionales (Finca El Tremedal). Costa Rica. 2006-2008.

Ecuación logística: Ecuación exponencial  $y=a (1-\exp(-bx))$ . Coeficientes de los datos:  $R= 0.99$ ;  $a =222.02013$ ;  $b=0.054661857$ .



Frecuencia de la presencia de por género en los nematodos del suelo y la raíz de plantas de *A. comosus* híbrido MD-2 de uno de siete meses de edad, bajo las técnicas convencionales, en Finca Transunion y explotación Sarapiquí. 2008.

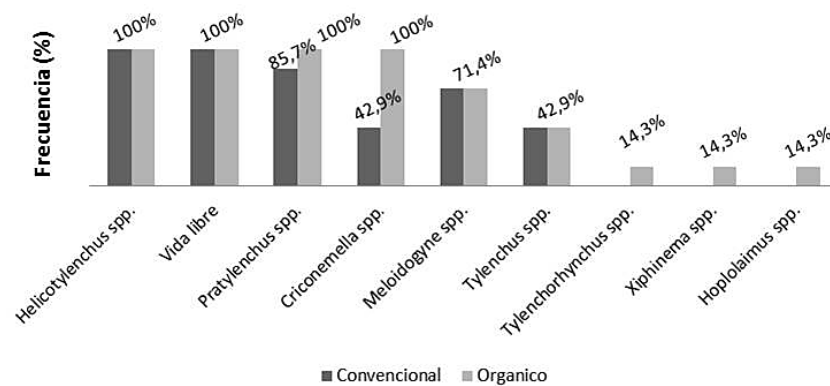


Figura 27. Frecuencia de la presencia de nematodos de género de nematodos en las raíces de plantas de *A. comosus* híbrido MD-2 de uno a siete meses de edad, en plantaciones de producción orgánicas y convencionales en las fincas, El Tremedal, Transunión y Corsicana, Costa Rica, 2006-2008.

una frecuencia similar del 71,43%. Según Bafokuzara (1982), en Uganda, en la estación de investigación de Kawanda y Masaka, en muestras de las raíces de la piña del género *Meloidogyne* spp. se presentó con una frecuencia de 42,9% y 33,3%.

### Comparación de nematodos en el suelo entre los sistemas de cultivos orgánico y convencional en las fincas Corsicana, Transunión y Tremedal

En el suelo cultivado con técnicas orgánicas se presentaron seis géneros parasitarios, mientras que en el suelo con el tratamiento convencional se presentaron siete géneros. En ambos sistemas de producción se observaron un gran número de nematodos de vida libre. En el cultivo de piña en sistema bajo manejo orgánico, dos nematodos fueron los de mayor frecuencia con un 100% en ambos casos, los cuales fueron, *Helicotylenchus* spp. y

*Pratylenchus* spp. A diferencia de las plantas cultivadas bajo el tratamiento convencional en donde sólo apareció el *Helicotylenchus* spp. con una frecuencia de 100% (figura 28). El *Helicotylenchus* spp. fue el género más frecuentemente observado tanto en el sistema orgánico como en el convencional.

*Pratylenchus* spp. se observó con una frecuencia del 100% bajo el manejo orgánico, mientras que en suelos cultivados de manera convencional se presentó con una frecuencia de un 71,43%, León (2007) observó los mismos resultados en su investigación.

El género *Meloidogyne* spp. se presentó con una frecuencia de 71,43% en el suelo bajo manejo orgánico, mientras que con el tratamiento convencional se presentó a una tasa de 51,14%. En Uganda, este género presentó frecuencias de 77,1% y 80,0% en el suelo cultivado con piña convencional en la estación

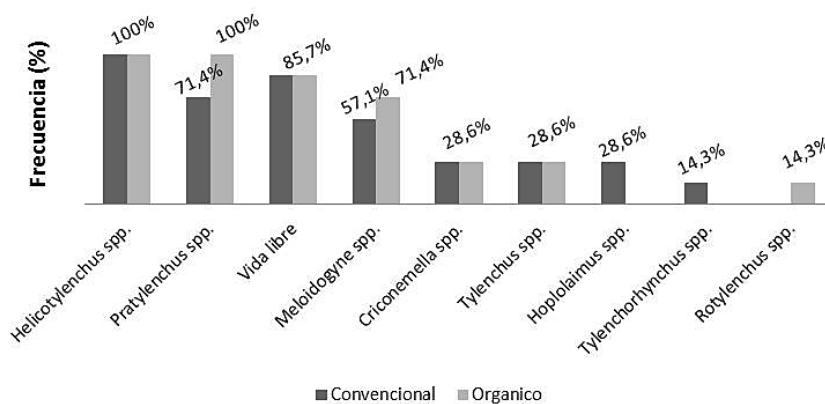


Figura 28. Frecuencia de la presencia por género de los nematodos bajo los sistemas orgánico y convencional en *A. comosus* híbrido MD-2 en las fincas Corsicana, Transunió y El Tremedal. Costa Rica. 2006-2008.

de investigación de Kawanda y Masaka (Bafokuzara 1982).

El estudio comparativo de la densidad de población de los nematodos encontrados en el suelo y la raíz en plantas bajo técnicas orgánicas y convencionales, de acuerdo con el análisis de varianza, no encontró diferencias significativas para el factor de manejo de la plantación (Sig = 903 > 0,05). Esto indica que la densidad de población de los nematodos no se ve influenciada por el manejo de la plantación sea orgánica o convencional.

Sí existen diferencias significativas entre los nematodos (Sig = 0,000 < 0,05) y el tipo de muestra si es de la raíz o del suelo (Sig = 0,000 < 0,05). Por lo tanto, la dinámica y densidad de nematodos sí varía en las poblaciones de nematodos según el tipo de género y de la muestra ya sea de la raíz o del suelo.

El tipo de cultivo orgánico o convencional de las interacciones de plantación - nematodo (Sig = 0,656 > 0,05) y manejo de la plantación - el tipo de muestra (de la raíz y del suelo) (Sig = 0,988 > 0,05) no tuvo efecto significativo sobre la densidad de la población de los nematodos.

La interacción nematodo por el tipo de muestra (raíz y suelo), presentó diferencias significativas (Sig = 0,000 < 0,05) en la densidad de población de nematodos por lo que este varía según la ubicación.

Dinámica y densidad de la población de nematodos presentes en las raíces de las plantas de piña en orgánica y convencional.

La figura 29 se muestra los valores promedio de individuos que nos permiten observar la densidad

de población de nematodos presentes en las raíces de plantas de piña en sistemas de cultivo tanto en sistemas convencionales, como los orgánicos.

El género *Pratylenchus* spp. en las raíces fue el de la mayor densidad de población tanto en el sistema orgánico como en convencional. En el sistema convencional, con la mayor densidad de población fue de 1.075,22 ind /100 g de raíces y en el orgánico fue de 1009,83 ind /100 g de raíces. De acuerdo con León (2007), el género *Pratylenchus* spp. presenta una densidad de población de 4 219,00 ind /100 g

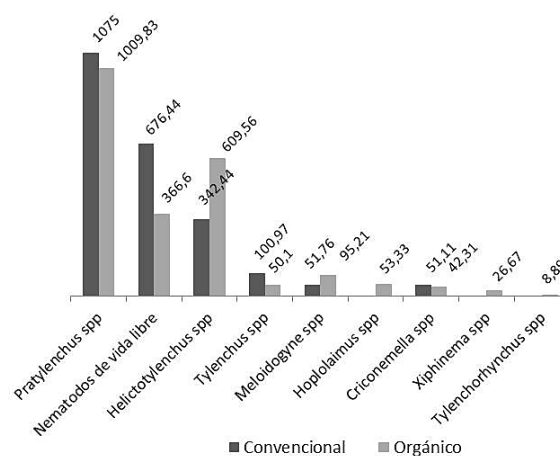


Figura 29. Dinámica y densidad de población de nematodos en las raíces de *A. comosus* híbrido MD-2, en plantas de uno a siete meses de edad, de conformidad con las técnicas convencionales y orgánicas en las fincas Corsicana, Transunió y El Tremedal, Costa Rica, 2006-2008.

de raíz en el cultivo de la piña en el sistema convencional entre los dos a doce meses de edad.

En las raíces de las plantas bajo manejo orgánico, la mayor densidad de población la presenta el género *Helicotylenchus* spp. (609,56 ind /100 g de raíces), mientras que en las raíces de las plantas con el sistema convencional fue 1 342,44 de ind /g de raíces. La densidad media de población diagnosticada por León (2007) en plantas de piña a las edades de dos a doce meses para el género *Helicotylenchus* spp., fue 1 673.68 ind /100 g de raíces.

*Meloidogyne* spp. presentó su más alta densidad de población en las raíces de las plantas bajo manejo orgánico (95.21 ind/100 g de raíces), mientras que en los cultivos convencionales tuvo una densidad poblacional de 51,76 ind/100 g de raíces, mientras que León (2007) reportó 85,67 ind/100 g de raíces.

*Hoplolaimus* spp., *Tylenchorhynchus* spp. y *Xiphinema* spp., se encuentran con muy bajos niveles de presencia en ambos tipos de cultivo.

### Densidad de población de los nematodos presentes e el suelo de las plantas en producción orgánica y convencional.

La densidad de población de nematodos en el suelo de las plantas de piña con manejo orgánico y convencional no mostró diferencias significativas entre ellos (figura 30).

A pesar de no existir diferencias, el género *Helicotylenchus* spp. en labranza convencional mostró una mayor densidad de población en el suelo con relación al cultivo orgánico. Con respecto al número de individuos por unidad de suelo, estos resultados coinciden con lo planteado por León (2007).

*Pratylenchus* spp. mostró una mayor densidad de población (13,78 ind/100 g de suelo) en el sistema convencional, comparado con la de manejo orgánico, que fue de 7,56 ind/100g de suelo.

El género *Criconebella* spp. presentó una mayor densidad de población media en el suelo con el tratamiento convencional (11,67 ind/100g) que con el orgánico (5,00 ind/100g raíz), en donde también fue menor.

*Tylenchus* spp. se presentó con densidades muy similares tanto en el suelo de las plantas de piña con el sistema orgánico como con el convencional, con

5,28 ind/100g de suelo y 5,33 ind /100 g de suelo, respectivamente.

*Hoplolaimus* spp. apareció solo en el suelo de las plantas de piña con el tratamiento convencional, con una densidad poblacional de 6,67 ind/100g de suelo.

El género *Rotylenchus* spp. solo se pudo observar en suelo bajo manejo orgánico, con una densidad poblacional promedio de 6,67 ind/100g de suelo.

El género *Tylenchorhynchus* spp. se observó con una densidad de 6.67 ind/100g de suelo, solo en plantaciones de sistema convencional.

### Modelos de la dinámica de las poblaciones de nematodos fitoparásitos en la raíz de *Ananas comosus* híbrido MD-2 en plantaciones orgánicas y convencionales

Los análisis aplicados a las plantaciones en los dos sistemas (orgánico y convencional) no mostraron ningún efecto sobre la densidad de población de nematodos parásitos de plantas ( $\text{Sig} = 535 > 0,05$ ), ni en tiempo, ni en función de las edades, por lo tanto ambos tienden a ser similares.

Las interacciones entre los factores antes mencionados (edad de la planta, tipo de muestra y manejo orgánico o convencional), no fueron significativamente diferentes.

El estudio de modelos comparativos de la dinámica de los nematodos parásitos en la raíz de las plantas de piña tanto en sistemas orgánico como convencionales se puede observar en la figura 31.

Aquí se muestra la dinámica de poblaciones y los modelos matemáticos relacionados con el crecimiento total de la población de nematodos fitoparásitos en las raíces de las plantas de piña, teniendo en cuenta la edad y el tipo de manejo orgánico y convencional durante el ciclo de cultivo.

En las raíces de la piña orgánica la densidad de la población en el primer mes de vida fue baja (153,33 ind/100g de raíz), el segundo mes de edad se incrementó a 411,24 ind/g de raíz, esto significa que el crecimiento es continuo durante todo el ciclo de vida de la plantación bajo este sistema.

Aparentemente, en general existe un antagonismo entre el *Meloidogyne* spp., el *Pratylenchus* spp. y el *Helicotylenchus* spp., ya que las poblaciones del primero se reducen mucho, con el crecimiento ascendente de los otros dos, en cualquier sistema de cultivo y edad.

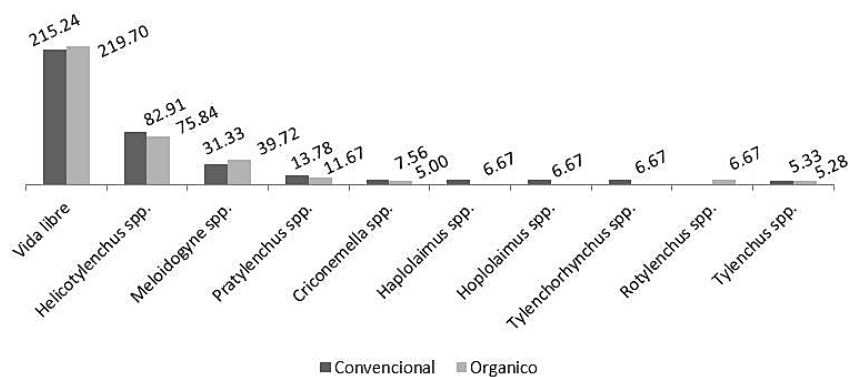


Figura 30. Densidad de población de nematodos en el suelo de plantas de *A. comosus* híbrido MD-2, bajo las técnicas convencionales y orgánicas en las fincas Corsicana y Transunión.

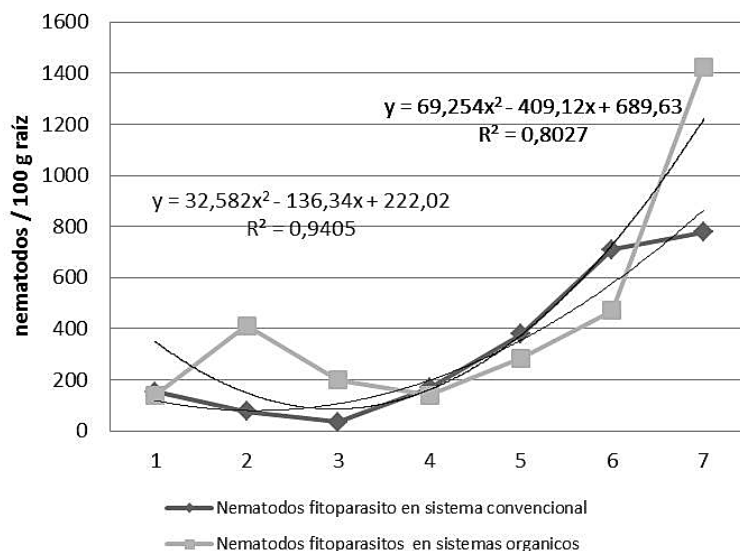


Figura 31. Dinámica de la población y modelos matemáticos para la plantación de nematodos parásitos en función de la edad en las plantas de *A. comosus* híbrido MD-2, de conformidad con las técnicas convencionales y orgánicas en las fincas Corsicana y Transunión y El Tremedal.

En cuanto a las poblaciones de nematodos en las raíces de las plantas con el tratamiento convencional, el primer mes de edad se observó una densidad media de población de 139,92 ind/100g de raíz, el segundo mes de edad de plantación, la densidad de población de nematodos disminuyó con un total de 75,86 ind/100 g de raíz, sin embargo durante los siguientes meses las plantas de piña mostraron poblaciones mayores de nematodos en todos los casos con 168,89 ind/100g de raíz , 378,95 ind/100g de raíz y de 709,42 ind/100g de raíz. En el último mes de edad presentaron la mayor densidad de

población de nematodos parásitos con 776,79 ind/100 g de raíz.

### Modelos de la dinámica de las poblaciones de nematodos fitoparásitos en suelo de plantaciones orgánicas y convencionales de *Ananas comosus* híbrido MD-2.

La densidad media de la población de nematodos parásitos en el suelo del cultivo de la piña, orgánica y convencional durante todo el ciclo se muestra en la figura 32.

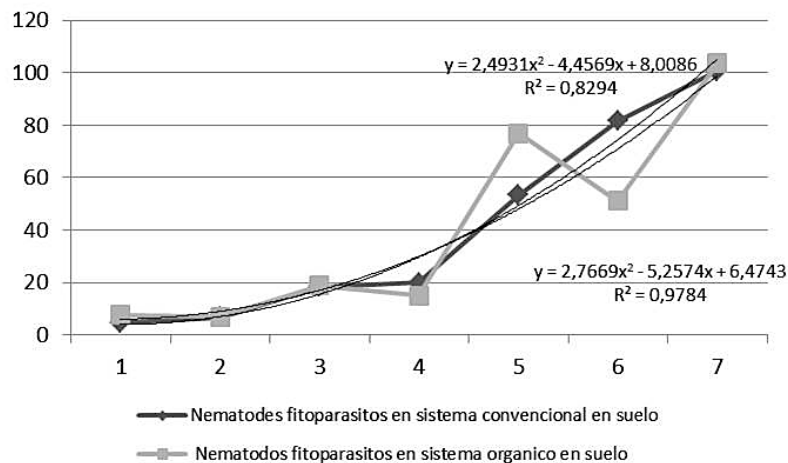


Figura 32. Dinámica de la población y modelos matemáticos para los nematodos en el suelo en plantaciones de *A. comosus* híbrido MD-2, bajo las técnicas convencionales y orgánicas en las fincas Corsicana, Transunión y El Tremedal, Costa Rica, 2006-2008.

Las poblaciones de nematodos parásitos en el suelo fueron relativamente bajas en comparación con las que se encontraron en las raíces.

En las plantas cultivadas en tierra bajo manejo orgánico, el promedio de la densidad de la población de nematodos en la en el primer y segundo mes de edad fue de 7,78 ind /100g de suelo y de 7,01 ind /100g de suelo respectivamente. En el tercer mes se produjo la cantidad de 18,89 ind /100g de suelo y se mostró un aumento en el cuarto y en el quinto mes de edad, cuando se incrementa considerablemente hasta 76,92 ind /100g de suelo.

Aunque el comportamiento de los nematodos sube y baja según los diferentes meses, siempre se produce un crecimiento de la población total al final del ciclo de cultivo.

En las plantas de tratamiento convencional, la población aumentó durante los meses iniciales y hasta la cosecha, cuando presentó una densidad de población mínima de 4,81 ind/100g de suelo y una máxima de 100,67 ind/100g de suelo; para el séptimo mes la población fue creciendo hasta el final de la cosecha.

## Conclusiones

En muestras de raíces de las plantas de *A. comosus* (piña) en el cultivo orgánico y convencional los géneros de nematodos más frecuentes fueron

*Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp., *Meloidogyne* spp. y *Criconemella* spp., que presentaron una alta frecuencia en relación con la edad y la toma de muestras durante todo el estudio.

En la raíz de las plantas de *A. comosus* en manejo orgánico se encontró una mayor diversidad de nematodos (nueve géneros parasitarios y nematodos de vida libre) que las reportadas en las raíces de las plantas con el tratamiento convencional (seis géneros parasitarios y nematodos de vida libre).

Las muestras de suelo de *A. comosus* con el tratamiento convencional mostraron una mayor diversidad de nematodos (parásitos y siete géneros de nematodos de vida libre), que la observada en el suelo bajo la planta de manejo orgánico (seis géneros parasitarios y nematodos de vida libre).

*Helicotylenchus* spp., tanto en el manejo orgánico como en el convencional, se presentó como el nematodo parásito más importante, seguido por *Pratylenchus* spp.

Los otros géneros están presentes en una proporción menor, como el *Criconemella* spp., que es un nematodo parásito que tiene la posibilidad de transmitir virus en el cultivo.

En las fincas objetivo del estudio, el comportamiento de los nematodos fue similar; el crecimiento en el tiempo y los modelos matemáticos muestran altos coeficientes de determinación y correlación,

así como siempre una población en aumento en el tiempo.

No hubo diferencias significativas en las poblaciones de nematodos parásitos en el tipo de agricultura orgánica o convencional, y entre los géneros de nematodos fitoparásitos más importantes encontrados.

En suelos cultivados de *A. comosus* tanto en fincas orgánicas como convencionales, los nematodos de vida libre tuvieron una densidad de población media alta en todos los tiempos, lo que indica, la buena fertilidad de los suelos y muy buen contenido de materia orgánica.

Estos nematodos parásitos causan graves daños a los cultivos si no se trata a tiempo con las medidas de protección fitosanitaria y la gestión de un buen manejo integrado de plagas.

Los modelos matemáticos usados nos demuestran como se produce en el suelo y en la raíz de las plantas el crecimiento de las comunidades de nematodos fitoparásitos, a partir de los cuales se podrán hacer predicciones de estos para las mismas condiciones en que se realizó este estudio. A su vez le permitirá a los investigadores poder usar esta herramienta para valorar crecimientos poblacionales en el tiempo y como es lógico su predicción.

## Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo estudios dirigidos a la determinación de umbrales de daños específicos y su repercusión económica sobre el cultivo, teniendo en cuenta el efecto de las poblaciones de nematodos fitoparásitos sobre el rendimiento y los costos de control.

También se recomiendan realizar estudios específicos sobre *Helicotylenchus* spp. y *Pratylenchus* spp., y sus efectos sobre la producción, así como la determinación de los niveles de población perjudiciales para la piña a través de escalas valorativas.

## Bibliografía

Bafokuzara, N.D. (1982). Nematodes associated with pineapple in Uganda. Kawanda Reserch Station. Masaka Cooperative Union, Kampala. *Nematropica* (12)1.

Brenes, S. (2007). Caracterización vegetativa y productiva del cultivar MD-2 de piña (*Ananas comosus*) bajo las condiciones climáticas de Turrialba. (en línea). Consultado el 12 de marzo 2009. Disponible en: [http://intersedes.ucrac.cr/pdfs\\_11/11-art\\_03.pdf](http://intersedes.ucrac.cr/pdfs_11/11-art_03.pdf).

Castro, Z. (1994). Cultivo de la piña. En: Gonzalo C., E. *Atlas Agropecuario de Costa Rica*. San José: Editorial Costa Rica.

Castro, Z. (2000). *Estudio de la actividad productora de piña (Ananas comosus (L.) Merr y comportamiento del mercado interno en Costa Rica*. San Carlos, Costa Rica. 64 pp. Informe técnico Escuela de Agronomía.

Castro J., Z. (2004). Guía para el cultivo de piña (*Ananas comosus*) (L) Merr: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Escuela de Ingeniería en Agronomía. 123 pp.

Creación del Fondo para el Desarrollo Integral del Cultivo de Piña y Mitigación del Impacto Ambiental. (2005). Proyecto de Ley. Asamblea Legislativa de Costa Rica. (en línea). Consultado en abril de 2011. Obtenido desde: <http://www.comex.go.cr/difusion/comunicados/CP-661.htm>.

Esquivel, A. (2005). Manual de identificación de géneros de nematodos importantes en Costa Rica. Heredia, CR.: Universidad Nacional. 50 pp.

Hernández H., R. (1998). *Los nematodos parásitos de la piña. Opciones para su manejo*. La Habana: Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical.

Jesse R. C. (1976). *Nematodos de los vegetales. Su ecología y control*. Editorial SERBIULA (sistema Librum 2.0) Puerto Rico.

Jessé, R.C. (1978). Fitonematología tropical. *Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico* 7(43): 205-217. Editorial SERBIULA (sistema Librum 2.0) Puerto Rico.

Lara, J. (1984). Informe de resultados de muestreo nematológico del cultivo de piña en Panamá Oeste. IDIAP. (sin publicar).

Luc, M., Sikora, R.A. & Bridge, J. (2005). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Nematode Parasites of Pineapple*. 2 ed. Massachusetts: CAB International.

Quesada, M. & Barboza, R. (1999). Distribución espacial de *Helicotylenchus* spp. en el suelo de una plantación de piña (*Ananas comosus*) en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23(1).

Radewald & Takeshita (1964). Desiccation studies on five species of plant-parasitic nematodes of Hawaii. *Phytopathology* 54: 903-904.

Rich, J. & Hendley, S. (2003). Introduction to Plant Parasitic Nematodes and Their Management. (en línea). Entomology and Nematology Department University of Florida, US. (Consultado el 4 abril 2009). Obtenido desde: <http://www.ontaweb.org/>.

Román, J. (1978). *Fitonematología tropical. Nematodos de la piña (Ananas comosus) (L) Merr*: Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico.



Sasser J., N. (1989). *Plant-Parasitic Nematodes: The Farmer's Hidden Enemy*. Department of Plant Pathology North Carolina State University. 115 pp.

Tarjan, A. (1967). Some plant nematode genera associated with citrus and other crops in Costa Rica and Panamá. *Turrialba* 17(3):280-283.

Tarté, R. (1970). Reconocimiento de nematodos asociados con diversos cultivos en Panamá. *Turrialba* 20(4): 401-406.

## Reconocimiento

Los autores agradecen a los colegas del laboratorio de Nematología, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional de San Carlos, a la Vicerrectoría de investigación y Extensión de nuestra Institución, al Ministerio de Ciencia y Tecnología, así como al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ambas de Costa Rica, por el apoyo recibido para

participar en el “Cuarta conferencia Internacional sobre Agricultura celebrada en Atenas , Grecia, los días 18-21 de julio del 2011. A su vez al Consejo Nacional de Rectores por el apoyo al financiamiento de parte de este proyecto.

## Acknowledgment

We wish to thank through this conduit colleagues Nematology Laboratory, the Vice-Rector for Research and Extension of the Technological Institute of Costa Rica, the Ministry of Science and Technology (MICIT) and the National Research Council (CONICIT) Costa Rica both institutions for the support provided for conducting this research and its presentation in the “4th Annual International Conference on Agriculture”, 18-21 July 2011, Athens, Greece.

# Evaluación del antagonismo de *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* contra tres patógenos del ajo

Evaluation of antagonism of *Trichoderma* sp. and *Bacillus subtilis* against three garlic pathogens

Karina Astorga-Quirós<sup>1</sup>  
Karla Meneses-Montero<sup>2</sup>  
Claudia Zúñiga-Vega<sup>3</sup>  
Jaime Brenes-Madriz<sup>4</sup>  
William Rivera-Méndez<sup>5</sup>

Fecha de recepción: 07 de octubre del 2013  
Fecha de aprobación: 21 de diciembre del 2013

Astorga-Quirós, K; Meneses-Montero, K; Zúñiga-Vega, C; Brenes-Madriz, J; Rivera-Méndez, W.  
Evaluación del antagonismo de *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* contra tres patógenos del ajo.  
*Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 82-91

- 1 Estudiante de Ingeniería en Biotecnología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: kariasq@yahoo.com.
- 2 Investigadora. Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: kmeneses@itcr.ac.cr.
- 3 Académica. Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: czuniga@itcr.ac.cr.
- 4 Académico. Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jabrenes@itcr.ac.cr.
- 5 Académico. Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: wrivera@itcr.ac.cr.

## Palabras clave

*Allium sativum*; *Bacillus subtilis*; *Trichoderma* sp.; *Sclerotium cepivorum*; *Pseudomonas marginalis*; *Penicillium* sp.

## Resumen

La producción y calidad del cultivo del ajo criollo (*Allium sativum*) se ven limitadas por diversas enfermedades de origen fungoso y bacterial, que llevan al productor a aplicar estrategias de control químico y en algunos casos abandonar la actividad por un incremento en las pérdidas. El control biológico es una estrategia útil para combatir este tipo de microorganismos. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el antagonismo in vitro de *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* contra tres de los principales patógenos del ajo: *Sclerotium cepivorum*, *Penicillium* sp. y *Pseudomonas marginalis*. Las especies mencionadas se aislaron e identificaron con pruebas bioquímicas y claves taxonómicas respectivamente y se determinó su actividad antagónica y efecto inhibitorio utilizando el crecimiento en platos duales. La cepa de *B. subtilis* mostró un potencial con valores bajos de PICR: 14,087 ante *S. cepivorum* y 3,328 ante *Penicillium* sp., por lo que se clasifica como un mal biocontrolador. Por su parte, *Trichoderma* presentó un potencial muy alto, con valores de PICR de 40,210 frente a *S. cepivorum* y de 45,034 ante *Penicillium* sp., lo que indica que es un muy buen controlador. Los resultados apoyan el potencial de las cepas de *Trichoderma* sp. como agentes de control biológico frente a la pudrición causada por *Penicillium* del ajo, la bacteriosis por *P. marginalis* y la pudrición blanca por *S. cepivorum*. No así *Bacillus subtilis*, pues la cepa aislada demostró poco potencial como biocontrolador.

## Key words

*Allium sativum*; *Bacillus subtilis*; *Trichoderma* sp.; *Sclerotium cepivorum*; *Pseudomonas marginalis*; *Penicillium* sp.

## Abstract

The production and quality of the cultivate garlic field (*Allium sativum*) is limited by diverse fungal diseases and bacteria that lead the producer to implement the application of chemical control strategies and in some cases the abandonment of the activity by an increase in losses. Biological control is a useful strategy to combat these types of microorganisms. The objective of this research was to evaluate the in vitro antagonism of the *Trichoderma* sp. and *Bacillus subtilis* against three major pathogens of garlic: *Sclerotium cepivorum*, *Penicillium* sp. and *Pseudomonas marginalis*. The species mentioned were isolated and identified by biochemical and taxonomic keys respectively and tested for antagonistic activity and inhibitory effect on growth using dual plates. Strain *B. subtilis* showed a low potential with low values of PICR, 14,087 against *S. cepivorum* and 3,328 against *Penicillium* sp., this is bad biocontrol. Regarding *Trichoderma* sp, it presented a very high potential, with values of 40,210 PICR against *S. cepivorum* and 45,034 against *Penicillium* sp. The valuation classifies it as a very good biocontrol. The results obtained in these studies support the potential of the strains of *Trichoderma* sp as biological control agents against *Penicillium* sp garlic rot, *P. marginalis* bacteria and white rot by *S. cepivorum*. This is not the case with *B. subtilis*, as the isolate proved otherwise.

## Introducción

En Costa Rica, la producción y la calidad del cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) se ven limitadas por diversas enfermedades de origen fungoso, bacterial y viral, que inciden en la baja productividad y en una reducción de la superficie sembrada. Esto, sumado a las políticas arancelarias que reducen o anulan los impuestos a los productos importados, ha causado un incremento de las importaciones desde China y otros países que estancan o dejan rezagada, aún más, la producción del ajo criollo (Brenes et al. 2013, Guillén et al. 2011, Rivera et al., 2012).

Las enfermedades más comunes de esta hortaliza afectan tanto al follaje como a los órganos subterráneos, principalmente por la podredumbre de los bulbos causado por especies de *Penicillium*, podredumbre blanda en bulbos y sistema radicular por *Sclerotium cepivorum* Berk o bacteriosis ocasionadas por *Pseudomonas marginalis* (Lisboa, 2003, Rojas et al., 2009). En el caso de *S. cepivorum*, la gran capacidad de supervivencia de los esclerocios, que pueden permanecer en el suelo por hasta 20 años, dificulta aún más el manejo (Velásquez y Medina, 2004, Pinto et al., 1998).

Por su parte, el control biológico de plagas, una de las alternativas que existe, debe basarse en técnicas preventivas, fomentando el desarrollo óptimo de las plantas y su resistencia natural a plagas y enfermedades. Los microorganismos más usados en ajo incluyen *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Trichoderma* y *Bacillus* (Reinoso et al., 2006, Izzeddin y Medina, 2011). En el caso de *Trichoderma*, la especie *T. harzianum* ejerce su actividad de hiperparásito competitivo con la producción de metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas, que provocan cambios estructurales a nivel celular, sin atacar a las plantas superiores; mientras que las cepas de *B. subtilis* se caracterizan por producir antibióticos y otras sustancias con capacidad antifúngica que impiden el establecimiento de los patógenos (Ezziyani et al., 2004b).

Tanto *T. harzianum* como *B. subtilis* crecen rápidamente en cultivo líquido, forman endosporas y producen metabolitos secundarios que reducen la posibilidad de desarrollar resistencia por parte del patógeno. También presentan la ventaja de que se degradan de forma paulatina. El grado de ataque de estos antagonistas depende de factores como el

ambiente, el estado del tejido vegetal y, en el caso de los hongos, de la cantidad y calidad del inóculo (Hernández et al. 2007). Varios autores han analizado la liberación de compuestos con propiedades antifúngicas como la subtilina y otros antibióticos de la familia de las iturinas. Se ha demostrado que *B. subtilis* no solo produce compuestos antibacteriales sino también antifúngicos (Santander, 2012).

El objetivo de esta investigación consistió en estudiar la capacidad antagonica in vitro del hongo *Trichoderma* sp. y la bacteria *B. subtilis* frente a tres patógenos del ajo: *S. cepivorum*, *P. marginalis* y *Penicillium* sp., para su utilización como una estrategia futura para lograr un control más efectivo de estas enfermedades en el campo.

## Materiales y métodos

### Localización y material experimental

Las pruebas y procedimientos se llevaron a cabo durante el segundo semestre de 2012 y 2013, en las instalaciones del Centro de Investigación en Biotecnología (CIB) y los laboratorios de la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

Para el bioensayo se emplearon muestras de tejido vegetal (bulbos de ajo blanco), rizosfera y suelo con signos de las diferentes enfermedades en el campo, procedentes de la zona norte de Cartago, Costa Rica.

### Aislamiento y caracterización de *Penicillium* sp., *Sclerotium cepivorum*, *Pseudomonas marginalis*, *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp.

El aislamiento y caracterización de *Penicillium* sp., *S. cepivorum* y *P. marginalis* se realizó según la metodología utilizada por Astorga et al. (en prensa).

Para *B. subtilis* se utilizó el método descrito por Reyes et al. (2011). Se pesó 1 g de cada muestra de suelo y se suspendió en 9 ml de agua destilada estéril en un tubo de centrifuga de fondo cónico de 15 ml. Se homogeneizó vigorosamente en un vórtex durante 3-5 min. Los tubos se colocaron a 80° C por 15 min y se sembraron 200 µl para una dilución final de 1:200 en placa Petri con medio agar nutritivo. Finalmente, se incubó a 28 ± 2° C durante 24 h. Se seleccionaron colonias según su forma, tamaño, bordes, elevación, color y textura con base en lo descrito por Claus y Berkeley (1986).

Se sembraron en forma individual en agar nutritivo, con 5 repeticiones de la muestra inicial. Se sembraron en medio agar sangre y se volvieron a cultivar en agar glucosado al 2%. A cada colonia se le realizó una caracterización bioquímica (Bergey, 2005). Se aplicaron las siguientes pruebas: oxidasa, catalasa, crecimiento en NaCl al 6,5%, asimilación de citrato, Voges-Proskauer, (producción de acetoina o 2,3 butanodiol), reducción de nitratos, almidón y rojo de metilo. Con la tinción de Gram, se determinó el tipo de pared y el tipo de agregación, mediante observación microscópica a 1000x.

Para los cultivos de *Trichoderma* sp. se activaron cepas conservadas a -10° C, provenientes de investigaciones realizadas en el cultivo del ajo en el CIB (Rivera 2011). Se inoculó una porción del tejido fúngico en medio PDA acidificado (ac) con ácido láctico e incubado a 28° C por 96 horas.

### Pruebas de antagonismo

Se desarrollaron pruebas de antagonismo usando la metodología de cultivo dual. En el caso de bacteria frente a bacteria, se incubaron cepas de *B. subtilis* y *P. marginalis* en un medio glucosado. Una placa Petri se rayó hasta la mitad con el patógeno y se colocaron 3 estrías perpendiculares del posible biocontrolador a 2 cm entre cada una.

Para las pruebas de bacterias contra hongos se empleó agar PDA para evaluar *B. subtilis* frente a *Penicillium* sp. y a *S. cepivorum*; así como para determinar la capacidad antagonista de *Trichoderma* sp. frente *P. marginalis*. En estas, las bacterias se rayan en toda la placa y los hongos se colocan en un disco de 1 cm de diámetro en el centro de ella.

En el caso del hongo frente a hongo, se empleó PDA-ac. para evaluar a *Trichoderma* sp. contra *Penicillium* sp. y *S. cepivorum*. En estas placas se colocó un disco del patógeno y otro del posible biocontrolador en lados opuestos, a 1 cm del borde (Correa et al. 2007). Las placas se incubaron a 28 ± 1° C y los diámetros de crecimiento del patógeno y del biocontrolador se midieron a las 72, 96 y 120 horas.

Para la evaluación de la capacidad biocontroladora de los microorganismos se empleó la escala utilizada por Ezziyyani et al. (2004a) (Cuadro 1) y el cálculo del Porcentaje de Inhibición del crecimiento radial (PICR), que mide el antagonismo de los microorganismos evaluados. Este se obtiene a partir del crecimiento de cada patógeno en cultivo dual, junto con sus respectivos testigos, empleando la fórmula utilizada por Suárez et al. (2008):

$$PICR = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \cdot 100$$

donde  $R_1$  es el radio mayor (radio patógeno-testigo) y  $R_2$  es el radio menor (radio del patógeno en cultivo dual).

Para las pruebas de bacteria vs bacteria se efectuó el cálculo del potencial antagonista, que consiste en medir el diámetro del halo de inhibición y sustraerlo del diámetro de la colonia del biocontrolador.

## Resultados y discusión

### Identificación de aislamientos del género *Bacillus*

Se determinó que los aislamientos corresponden a *B. subtilis*, tanto por la morfología de las colonias como por los resultados de las pruebas de identificación del género (figura 1, cuadro 2).

Cuadro 1. Escala utilizada por Ezziyyani et al. (2004a) para la evaluación de la capacidad antagonista de los biocontroladores.

Grado	Capacidad antagonista	Potencial biocontrolador
0	Ninguna invasión de la superficie de la cepa patógena	Muy malo
1	¼ Invasión de la superficie de la cepa patógena	Malo
2	½ invasión de la superficie de la cepa patógena	Deficiente
3	Total invasión de la superficie de la cepa patógena	Bueno
4	Total invasión de la superficie de la cepa patógena esporulación sobre ella	Muy bueno

### Potencial antagonístico de *Bacillus subtilis*

#### *Bacillus subtilis* vs *Pseudomonas marginalis*

Los resultados de las pruebas entre *B. subtilis* y *P. marginalis* (figura 2, cuadro 3) indican que esta cepa no tiene un buen efecto biocontrolador. La media estadística del potencial antagonista es 1,17 mm, por lo que la cepa de *B. subtilis* utilizada mostró un porcentaje bajo de poder antibiótico,

Los valores del potencial antagonístico a las 120 horas de cultivo, en la prueba de *B. subtilis* vs *P. marginalis*, presentaron un comportamiento estadístico normal ( $P=0,286$ ).

#### *Bacillus subtilis* vs *Sclerotium cepivorum*

Los resultados obtenidos en cultivo dual mostraron que *B. subtilis* no ejerció un buen control sobre el patógeno *S. cepivorum* (figura 3, cuadro 4). En

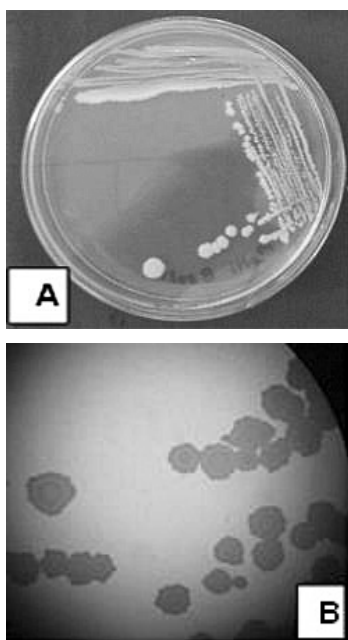


Figura 1. Características de las colonias de *Bacillus subtilis*. A y B) Morfología de colonias de *B. subtilis*, borde aserrado, centro elevado en forma de anillo con consistencia cremosa y pegajosa.

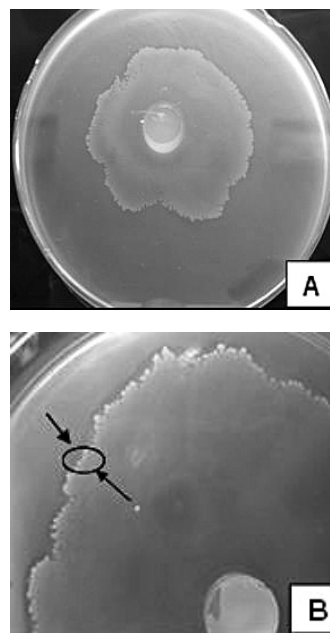


Figura 2. Confrontación de *Bacillus subtilis* vs *Pseudomonas marginalis*. A y B) *B. subtilis* vs *P. marginalis* a las 120 horas de incubación. Se observa la presencia de una pequeña zona clara que separa un microorganismo de otro.

Cuadro 2. Resultados de pruebas de identificación para *Bacillus subtilis*.

Pruebas	<i>Bacillus subtilis</i>	Pruebas	<i>Bacillus subtilis</i>
Gram	+	Agar Nutritivo 1% dextrosa	+
Sangre	+	Voges Proskauer	+
Glucosado	+	Citrato Simmonds	+
Peptona	+	Tolerancia 6,5% NaCl	+
Motilidad	+	Hidrólisis Almidón	+
Catalasa	+	Rojo de metilo	+
Nitrato	+	Oxidasa	+

Fuente: Laboratorio de Microbiología, CIB, ITCR 2012.

los valores del PICR a las 120 horas de cultivo se presentó un comportamiento estadístico normal ( $P = 0,339$ ).

### *Bacillus subtilis* vs *Penicillium* sp.

En la figura 4 y el cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos de la medición del antagonismo de

*B. subtilis* sobre *Penicillium* sp. En los valores de PICR a las 120 horas de cultivo se evidenció un comportamiento normal ( $P=0,851$ ). Como se puede observar, el biocontrolador no tuvo un buen control sobre el patógeno.

En el cuadro 6 se presenta el resumen de los resultados de *B. subtilis* frente a los patógenos del ajo evaluados.

Cuadro 3. Cálculo del potencial antagonista para *Bacillus subtilis* vs *Pseudomonas marginalis*.

Repetición	Potencial antagonista de <i>Bacillus subtilis</i> vs <i>Pseudomonas marginalis</i> (mm)
1	1,24
2	1,11
3	1,40
4	1,12
5	1,10
6	1,28
7	1,03
8	1,14
9	1,08
10	1,26

Cuadro 4. Cálculo del PICR para *Bacillus subtilis* vs *Sclerotium cepivorum*.

Repetición	PICR <i>Bacillus subtilis</i> vs <i>Sclerotium cepivorum</i>
1	14,22
2	15,56
3	14,82
4	12,70
5	14,62
6	13,99
7	15,89
8	12,20
9	12,28
10	14,59

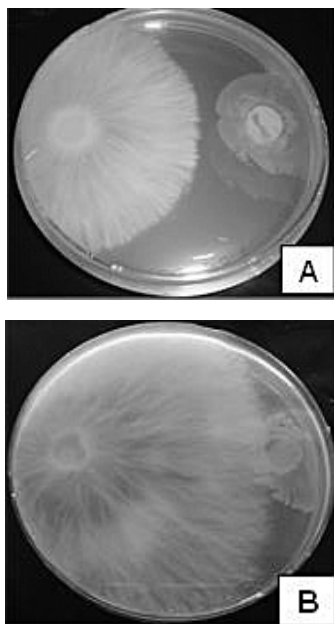


Figura 3. Confrontación de *Bacillus subtilis* vs *Sclerotium cepivorum*. A) Prueba a las 72 horas de incubación. B) Prueba a las 120 horas de incubación.

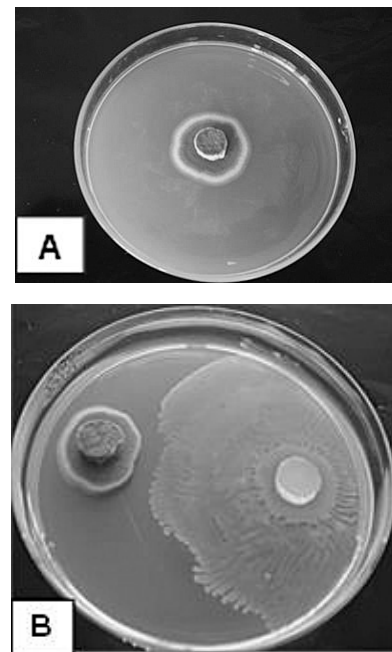


Figura 4. Confrontación de *Bacillus subtilis* vs *Penicillium* sp. A) Testigo de *Penicillium*. B) Prueba a las 120 horas de incubación.

La media estadística de las pruebas de *B. subtilis* vs *S. cepivorum* y *Penicillium* sp. es de 14,087 y 3,328 respectivamente. El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas ( $P= 0.00$ ) en el poder antagonista mostrado por *B. subtilis* frente a los dos patógenos.

La cepa de *B. subtilis* aislada y evaluada contra cada uno de los patógenos no mostró un buen control de las enfermedades. En especial en los análisis frente a los hongos, el desempeño no fue bueno. Con respecto a su comportamiento frente a la bacteria, aunque el valor de la inhibición es bajo, por las condiciones intrínsecas de la prueba, existe un potencial antagonista que se podría valorar con mayor detalle. Las variaciones en el potencial biocontrolador de una cepa específica están ligadas a las características genéticas y los factores ambientales presentes, así como a las interacciones con otros microorganismos.

Cuadro 5. Cálculo del PICR para *Bacillus subtilis* vs *Penicillium* sp.

Repetición	PICR <i>Bacillus subtilis</i> vs <i>Penicillium</i> sp.
1	0,30
2	4,09
3	0,00
4	6,29
5	2,91
<b>6</b>	<b>3,56</b>
<b>7</b>	<b>3,14</b>
<b>8</b>	<b>4,51</b>
<b>9</b>	<b>1,42</b>
<b>10</b>	<b>7,06</b>

Cuadro 6. Resultados del comportamiento de *Bacillus subtilis* frente a *Sclerotium cepivorum* y *Penicillium* sp. según escala de Ezziyani.

Biocontrolador	<i>Sclerotium cepivorum</i>	<i>Penicillium</i> sp.
<i>Bacillus subtilis</i>	Malo	Malo

### Potencial antagonico de *Trichoderma* sp.

El método de preservación de la cepa a  $-4^{\circ}$  C fue efectivo y no provocó daños en su integridad. Al cabo de 72 horas a  $28 \pm 2^{\circ}$  C, se observó crecimiento activo hasta cubrir por completo la placa en el transcurso de una semana.

### *Trichoderma* sp. vs *Pseudomonas marginalis*

En la prueba de antagonismo in vitro de *Trichoderma* sp. contra *P. marginalis* se presentó competencia por espacio y nutrientes por parte del biocontrolador; con una zona de inhibición progresiva y continuó creciendo hasta invadir la totalidad de la colonia de la bacteria. *Trichoderma* sp. evidenció una alta actividad antagonica con un valor de supresión del 32% (Cuadro 7, Figura 5). En los valores de PICR a las 120 horas de incubación, la prueba de *Trichoderma* vs *P. marginalis* presenta un comportamiento estadístico normal ( $P= 0,085$ ).

### *Trichoderma* sp. vs *Sclerotium cepivorum*

Las pruebas de crecimiento dual de *Trichoderma* sp. frente a *S. cepivorum* muestran una inhibición progresiva del patógeno a las 120 horas de incubación, lo que coincide con los mecanismos de antibiosis y parasitismo descritos por la literatura (Infante et al. 2009) (figura 6). Según la escala utilizada por Ezziyani et al. (2004a), *Trichoderma* sp. obtuvo un grado de 4, que lo califica con muy buen potencial

Cuadro 7. Cálculo del PICR para *Trichoderma* sp. vs *Pseudomonas marginalis*.

Repetición	PICR. <i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Pseudomonas marginalis</i>
1	29,55
2	24,47
3	50,92
4	27,12
5	37,88
6	27,19
7	26,53
8	34,71
9	30,43
10	35,15



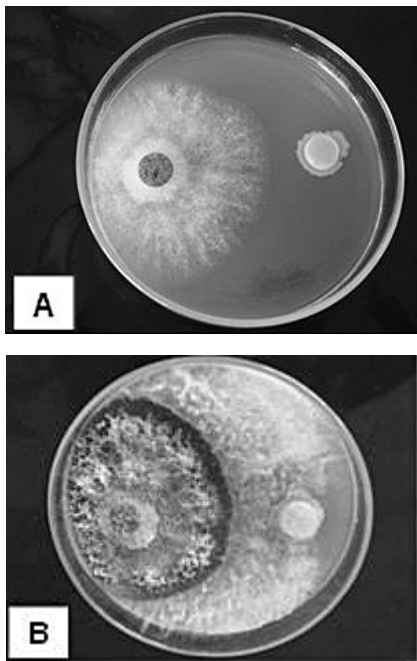


Figura 5. Confrontación de *Trichoderma* sp. vs *Pseudomonas marginalis*. A) A las 72 horas. B) A las 96 horas de incubación.

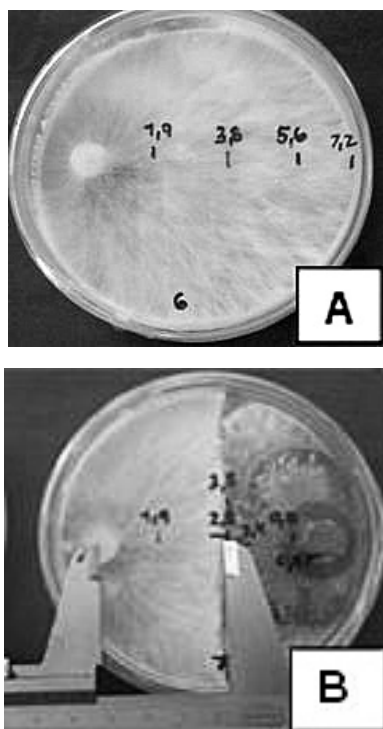


Figura 6. Confrontación de *Trichoderma* sp. vs *Sclerotium cepivorum*. A) Testigo de *Sclerotium cepivorum*. B) Cultivo dual de los dos hongos a las 120 horas.

biocontrolador. Lo anterior posiblemente es provocado por metabolitos difusibles y volátiles, así como por enzimas de los grupos celobiohidrolasas, endoglucanasas, glucosidasas, endoquitinasas, endoxilanasas y serinproteasas (Infante et al., 2009).

En el cuadro 8 se presentan los valores de PICR calculados a las 120 horas, donde se demuestra el potencial antagonístico del biocontrolador frente a *Sclerotium* sp. El análisis estadístico de este conjunto de datos mostró que tiene un comportamiento normal ( $P= 0,257$ ).

#### *Trichoderma* sp. vs *Penicillium* sp.

Las pruebas de antagonismo con *Trichoderma* sp. mostraron inhibición del crecimiento de *Penicillium* sp. El biocontrolador continuó creciendo hasta invadir totalmente al hongo patógeno al cabo de 120 horas (figura 7). De acuerdo con Harman (2006), este efecto puede estar relacionado con la producción de las enzimas quitinasa,  $\beta$ -glucanasa, celulasa y proteasa por parte de las cepas de *Trichoderma* sp.

En los datos de PICR del cultivo dual, la prueba de *Trichoderma* vs *Penicillium* presentó un comportamiento estadístico normal ( $P= 0,254$ ) (cuadro 9).

Según la escala utilizada por Ezziyyani et al. (2004a), el hongo *Trichoderma* sp. obtuvo un valor de 4, que lo califica como muy buen potencial biocontrolador ante *Penicillium* sp.

Cuadro 8. Cálculo del PICR para *Trichoderma* sp. vs *Sclerotium cepivorum*.

Repetición	PICR. <i>Trichoderma</i> sp. frente a <i>Sclerotium cepivorum</i>
1	49,02
2	46,30
3	42,37
4	37,04
5	35,19
6	37,50
7	39,66
8	20,93
9	45,00
10	49,09

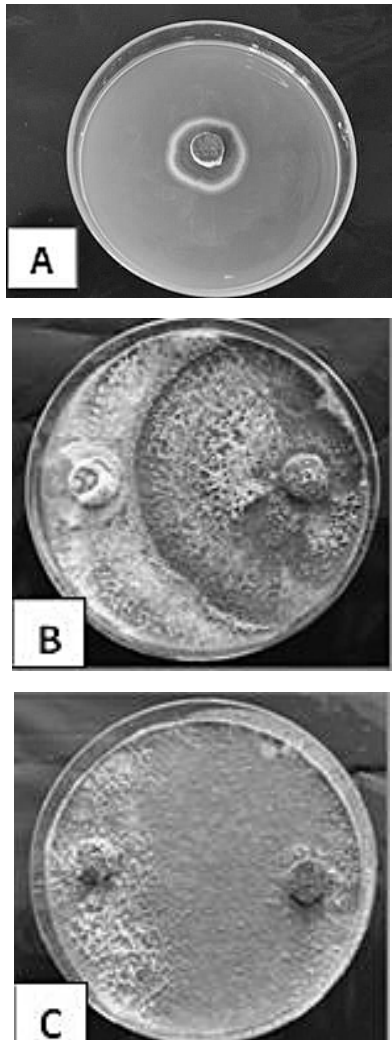


Figura 7. Confrontación de *Trichoderma* sp. vs *Penicillium* sp. A) Testigo de *Penicillium*. B) Prueba a las 96 horas. C) Prueba a las 120 horas.

En el cuadro 10 se presenta el desglose de resultados según el comportamiento de *Trichoderma* sp. frente a los agentes patógenos.

*Trichoderma* es un hongo que ataca, parasita y desplaza otros hongos que producen enfermedades en las plantas. Según el análisis de varianza de los porcentajes de inhibición del crecimiento radial como variable se determinó que no existían diferencias significativas entre los tratamientos ( $P= 0,107$ ).

La cepa de *Trichoderma* sp. utilizada para la prueba antagonista mostró un porcentaje de poder antibió-

Cuadro 9. Cálculo del PICR para *Trichoderma* sp. vs *Penicillium*.

Repetición	PICR <i>Trichoderma</i> sp. vs <i>Penicillium</i> sp
1	44,96
2	49,32
3	42,19
4	42,43
5	44,14
6	49,56
7	40,31
8	44,20
9	44,61
10	48,62

Cuadro 10. Resultados del comportamiento de *Trichoderma* sp. frente a *Sclerotium cepivorum* y *Penicillium* sp., según la escala de Ezziyani.

Biocontrolador	<i>Sclerotium cepivorum</i>	<i>Penicillium</i> sp.
<i>Trichoderma</i> sp.	Muy bueno	Muy bueno

tico in vitro muy alto, lo que lo ubica como un buen candidato para el biocontrol de estos patógenos.

El buen desempeño de *Trichoderma* ante los tres patógenos es un indicador de la alta actividad de los mecanismos de biocontrol disponibles por parte de la cepa. En las pruebas in vitro se obtuvo evidencia de los procesos de competencia, antibiosis y parasitismo que logran la inhibición y destrucción de los patógenos de interés. El grado en que los afecta también está en función de la estructura celular propia de esos patógenos, que permiten el accionar del biocontrolador:

Los resultados obtenidos indican que las cepas estudiadas de *Trichoderma* sp. pueden utilizarse como antagonistas frente a la pudrición por *Penicillium* del ajo, bacteriosis por *P. marginalis* y pudrición blanca por *S. cepivorum*. No así *Bacillus subtilis*, pues la cepa aislada no logró controlar los diferentes patógenos.

## Bibliografía

- Astorga, K. (2012). Evaluación *in vitro* del antagonismo de *Bacillus subtilis* estirpe silvestre y *Trichoderma* spp. frente a cepas aisladas e identificadas de *Sclerotium cepivorum*, *Pseudomonas marginalis* y *Penicillium* sp., patógenos de ajo (*Allium sativum* L.). Trabajo final de graduación Ingeniería en Biotecnología. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Astorga, K, Zúñiga, C. & Rivera, W. (En prensa). Aislamiento e identificación de patógenos de ajo (*Allium sativum* L.).
- Bergey (2005). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume II: The Proteobacteria*. Editorial James T. Staley, Don J. Brenner, Noel R. Krieg. 187 pp.
- Brenes Chacón, R., Guillén, A, Hilje, L., Rivera, W. & Zúñiga, C. (2013). *Cultivo del Ajo en Costa Rica*. Editorial UNED. 100 pp.
- Claus, D. & Berkeley, R.C. (1986). Genus *Bacillus* Cohn 1872, *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Baltimore, US: Williams y Wilkins.
- Correa, S., Mello, M., Ávila, Z., Minare, L., Pádua, R. & Gomes, D. (2007). Cepas de *Trichoderma* spp. para el control biológico de *Sclerotium rolfii* SAAC. *Fitosanidad* 11(1): 3-9.
- Ezziyiani, M, Pérez, S.C., Requena, M.E., Rubio, L. & Candela, M.E. (2004a). Biocontrol por *Streptomyces rochei* –Ziyani–, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología* 26: 69-78. Consultado 20 nov. 2012. Obtenido desde: <http://www.um.es/analesdebiologia/numeros/26/PDF/08-BIOCONTROL.pdf>.
- Ezziyiani, M., Pérez, C., Sid Ahmed, A., Requena, M. & Candela, M. (2004b). *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Anales de Biología* 26: 35-45. Consultado 12 jul. 2012. Obtenido desde: [http://www.phycoelementa.es/Documents/05-Trichoderma\[1\].pdf](http://www.phycoelementa.es/Documents/05-Trichoderma[1].pdf).
- Harman, G. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96: 190-194.
- Hernández, A., Bautista, S., Velázquez, M. & Hernández, A. (2007). Uso de microorganismos antagonistas en el control de enfermedades pos cosecha en frutos. *Rev Mex Fitopatología* 25: 66-74.
- Infante, D., Martínez, B., Gonzáles, N. & Reyes, Y. (2009). *Trichoderma* mechanisms of action against phytopathogen fungi. *Revista de Protección Vegetal* 24(1). Consultado 25 sept. 2012. Obtenido desde: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522009000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002).
- Guillén, A., Chacón, R. & Zúñiga, C. (2011). Detección del virus del enanismo amarillo de la cebolla (OYDV) y el virus latente común del ajo (GCLV) en ajo (*Allium sativum* L.) costarricense. *Tecnología en Marcha* 24 (4): 47-58.
- Izzeddin, N. & Medina, L. (2011). Efecto del control biológico por antagonistas sobre fitopatógenos en vegetales de consumo humano. *Salus* 15(3). Consultado 28 oct. 2012. Obtenido desde: [http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-71382011000300005&Ing=es&nrm=i](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-71382011000300005&Ing=es&nrm=i)so.
- Lisboa Minguzzi, M.A. (2003). Efectividad de *Bacillus subtilis* y de una cepa nativa de *Trichoderma harzianum* sobre la incidencia y severidad de pudrición gris (*Botrytis cinérea*) en *Vid vinifera*. Universidad de Talca-Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía (en línea). Consultado 27 jul. 2013. Obtenido desde: <http://www.factorhumus.com/wp-content/uploads/estudios/Control%20de%20plagas/univ.%20talca.%20subtilis%20pudric.%20gris.pdf>.
- Reyes, A., Ruiz, E., Yam, C. & Dzul, M. (2011). Selección de *Bacillus* spp. con actividad antagónica *in vitro* contra *Macrophomina phaseolina* (Tassi) en diferentes medios de cultivo. *Fitosanidad* 15(2): 117-121. Consultado 31 ag. 2012. Obtenido desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209122297007>.
- Reinoso, Y., Casadesús, L., García, A., Gutiérrez, J., Álvarez, V. & Álvarez, V. (2006). Aislamiento, selección e identificación de bacterias del género *Bacillus* antagonistas de *Pectobacterium carotovorum*. *Fitosanidad* 10: 187-191. Consultado 28 jul. 2012. Obtenido desde: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2091/209116108001.pdf>.
- Rivera Méndez, W. (2011). Aislamiento y uso de cepas de *Trichoderma* spp. Para el control biológico del hongo *Sclerotium cepivorum* Berkeley, causante de la pudrición blanda de bulbos de ajo (*Allium sativum*), con miras a la transferencia tecnológica a productores de la zona de Llano Grande de Cartago. Tesis Magister en Gestión de recursos naturales y Tecnologías de producción. Instituto Tecnológico de costa Rica.
- Rivera, W., Zúñiga, C. & Brenes, J. (2012). Cultivo del ajo. Combate de la enfermedad del torbó (*Sclerotium cepivorum*). Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 20 pp.
- Rojas, V., Ulacio, D., Sanabria, M.E. & Jiménez, M.A. (2009). Efecto del calcio, *Trichoderma* y brócoli en la pared y área celular del ajo para el control de la pudrición blanca. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 43(2). Consultado 10 sept. 2012. Obtenido desde: <http://revistas.luz.edu.ve/index.php/bcib/article/viewFile/3401/3287>.
- Santander, A. (2012). Uso de *Trichoderma harzianum* Rifai y *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn para el control de (*Colletotrichum gloeosporioides* Pens.) causante de la antracnosis en mango (*Mangifera indica* L.) (en línea). Consultado 12 jul. 2012. Obtenido desde: <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/3595>.
- Suárez, C., Fernández, R., Valero, N., Gámez, R. & Páez, A. (2008). Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. Asociado a la marchitez en maracuyá. *Revista Colombiana de Biotecnología* 10(3): 35-43.

# Caracterización histórica y socioeconómica de una franja territorial yuquera en el distrito de La Fortuna, San Carlos y Peñas Blancas, San Ramón, región Huetar Norte de Costa Rica

Historical and socio-economic characterization of a territorial strip of cassava growing in the district of La Fortuna, San Carlos and Peñas Blancas, San Ramon, North Huétar region of Costa Rica

*Francisco Rodríguez-Barrientos<sup>1</sup>*  
*Óscar Córdoba-Artavia<sup>2</sup>*

*Fecha de recepción: 27 de agosto del 2013*

*Fecha de aprobación: 28 de noviembre del 2013*

Rodríguez, F; Córdoba, O. Caracterización histórica y socioeconómica de una franja territorial yuquera en el distrito de La Fortuna, San Carlos, y Peñas Blancas, San Ramón, región Huetar Norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 92-106

1 Sociólogo. Profesor e investigador; Escuela Ciencias y Letras, Sede San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: franroba@gmail.com.

2 Ingeniero en Producción. Profesor e investigador; Escuela Administración de Empresas, Sede San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ocartavia@gmail.com.

## Palabras clave

Franja territorial yuquera; La Fortuna, San Carlos; Peñas Blancas de San Ramón; Región Huetar Norte; nueva agroexportación; consecuencias sociales y económicas de la nueva agroexportación.

## Resumen

El presente artículo se deriva del proyecto de investigación "Mejora en la eficiencia de la cadena productiva de la yuca en el distrito de La Fortuna, San Carlos, Costa Rica". Su objetivo fundamental consistía en mejorar la eficiencia y la productividad en las diversas etapas del proceso agroproductivo de la yuca. La investigación se realizó en una franja territorial que abarcó un sector del distrito de La Fortuna, cantón de San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica, tradicionalmente un importante lugar de producción yuquera, y otro del distrito de Peñas Blancas (cantón de San Ramón, provincia de Alajuela). Esa franja territorial es parte de la Región Huetar Norte costarricense y su sector ligado a la producción, procesamiento y comercialización de yuca constituyó la población meta de la investigación. El proyecto tuvo una duración de tres años (2006-2008).

En este artículo se hace una caracterización histórica, social y económica de dicha franja territorial. Además, se analizan las consecuencias económicas y sociales, tanto para las comunidades ubicadas en la franja territorial estudiada como para la región de la que forman parte, derivadas de los cambios ocurridos en los ámbitos nacional e internacional, sobre todo en los últimos treinta años. De este modo, se intenta perfilar el alcance y la índole de las eventuales transformaciones acaecidas en la franja seleccionada, ubicando siempre el análisis en el contexto de la región Huetar Norte. Posteriormente se publicarán más artículos con los resultados obtenidos en las etapas agrícola, industrial (maquiladoras y empacadoras) y social, destacando lo relacionado con la situación de los trabajadores en las empacadoras, haciendo énfasis en los migrantes nicaragüenses.

## Key words

Cassava strip of land; La Fortuna, San Carlos; Peñas Blancas de San Ramón; Región Huetar Norte; new agroexportation; social and economic consequences of the new agroexportation.

## Abstract

This article derives from the research project "Improvement in the efficiency of the productive chain of cassava in the district of Fortune, San Carlos, Costa Rica." The main objective of the project consisted on improving the efficiency and productivity in the various stages of the agro productive process of the cassava. The research was conducted in a strip of land covering an area of the district of La Fortuna, canton of San Carlos, Alajuela, Costa Rica, traditionally a major cassava growing production site, and an area of the district of Peñas Blancas (canton of San Ramón, Alajuela province). The strip of land selected is within the North Huetar Costa Rica. This population, connected to the production sector; processing and marketing of cassava, was the goal of the research population. The project lasted three years (2006-2008).

This article makes a historical, social and economic characterization of the strip of land chosen for the research. However, the article also analyzes the economic and social consequences for the communities located in the territory studied, and the region of which they form part, derived from the national and international changes occurred, especially, in the last thirty years. Thus, we try to outline the scope and nature of any transformations in the selected band, always placing the analysis within the context of North Huetar. Subsequently articles will be published with the results obtained in the agricultural industries (maquiladoras and packing) an social stages, highlighting those matters related to the situation of workers in packing, emphasizing on the Nicaraguan migrants.

## Introducción

El cultivo de la yuca es una actividad agrícola de gran importancia en Costa Rica, tanto para el mercado interno como internacional. El consumo nacional se estima entre 12 000 y 18 000 toneladas (Fonseca y Saborío, 2001) y la exportación de productos frescos y parafinados alcanzó en 2006 un total de 45,981 toneladas, aumentando en 2008 a 75 000 toneladas y en 2009 a 82 000 toneladas. Estados Unidos es el principal mercado internacional de Costa Rica (Barquero, 2010), con el 90% del total de las exportaciones costarricenses de yuca. A principios del siglo actual, el 95% de las importaciones de yuca norteamericanas provenían de Costa Rica, aunque en años posteriores países como Ecuador han venido ganando porciones de ese importante mercado (Fonseca y Saborío, 2001).

Las pérdidas poscosecha de yuca son de un 30% a 35%, alcanzando en algunos casos hasta 55% el porcentaje de rechazo de una yuca parafinada de exportación. Cerca de 20% a 25% de la yuca se comercializa sin cumplir con las características idóneas para tal propósito, lo que ha provocado una reducción del volumen ofertado, por lo tanto se deteriora la imagen y la calidad de la yuca que Costa Rica produce y exporta (Fonseca y Saborío, 2001).

La yuca también tiene otro inconveniente: la constante baja de los precios en el mercado internacional que suele afectar sobre todo a los pequeños y medianos productores. La sobreoferta es la causa principal de la baja en los precios. Este hecho explica que Costa Rica recibiera US\$64 millones por las 75 000 toneladas exportadas en 2008 pero solo US\$47 millones en 2009, a pesar de haber exportado una mayor cantidad de yuca: 82 000 toneladas.

El cantón de San Carlos ha sido tradicionalmente un importante productor de yuca. Hasta 1980 la mayor parte de la producción se colocaba en el mercado nacional, pero con la estrategia neoexportadora que se impone en el país a principios de esa década, la yuca se convierte en un relevante transable de exportación. Pital y La Fortuna son los principales distritos productores de yuca en San Carlos. Para la economía y sociedad de ambos es fundamental la producción y exportación de yuca, sobre todo si se toma en cuenta la presencia de pequeños y medianos productores. En el caso de La Fortuna y el sector Ángeles (Peñas Blancas, San Ramón) a la producción yuquera se han incorporado con

relativo éxito fincas pertenecientes a asentamientos campesinos establecidos en décadas pasada por el Instituto de Desarrollo Agraria (IDA).

Por lo anterior, un equipo interdisciplinario de la Sede San Carlos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) seleccionó y estudió una franja territorial entre los distritos de La Fortuna (San Carlos) y Peñas Blancas (San Ramón), en donde existen varias fincas y empacadoras dedicadas a la siembra, procesamiento y exportación de yuca. El proyecto, ejecutado entre 2006 y 2008, busca mejorar la eficiencia de la cadena productiva de la yuca al tiempo que indaga en algunos aspectos sociales y laborales relacionados con esta actividad.

Como un adelanto a otros resultados obtenidos durante el proyecto, este artículo ofrece una caracterización histórica y socioeconómica de la franja yuquera investigada.

## Breve caracterización socioeconómica de la franja territorial yuquera

Por los escasos registros actualmente disponibles, la zona en estudio se empezó a colonizar a fines de la década de 1930 (Vargas, 1986). (En la figura 1 se presenta un mapa con las comunidades en las que se realizó el estudio). Durante el periodo 1950-1990 la principal actividad económica fue la ganadería, de carne en los inicios y de doble propósito a partir de 1970. La mayor parte de los suelos fueron transformados en pastizales luego de una deforestación masiva, que en el periodo citado también afectó gran parte del territorio sancarleño (Rodríguez, 2003a). En la figura 2, que contiene información correspondiente a 1992, cuando la nueva estrategia agroexportadora estaba plenamente consolidada en San Carlos, el uso del suelo estaba dominado todavía por los repastos. Estudios realizados después, y referenciados en el cuarto informe del Estado de la Nación (1997) que tenía un capítulo especial dedicado a la región Huetar Norte, señalaban que la ganadería estaba perdiendo importancia en la franja investigada y en zonas vecinas, y que en suelos antes dedicados a la ganadería se sembraban productos como los tubérculos, el plátano, la caña de azúcar y el arroz. A pesar del relativo declive del sector pecuario, los repastos seguían ocupando la mayor parte de los suelos, situación que confirman estudios más recientes (Rodríguez, 2006).

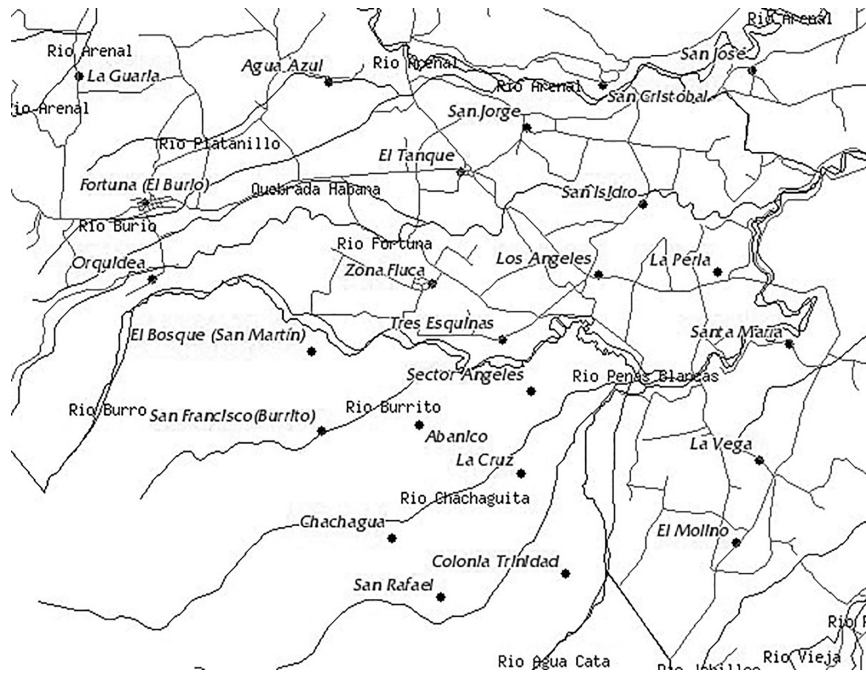


Figura 1. Mapa con las comunidades de la franja territorial seleccionada para la investigación.

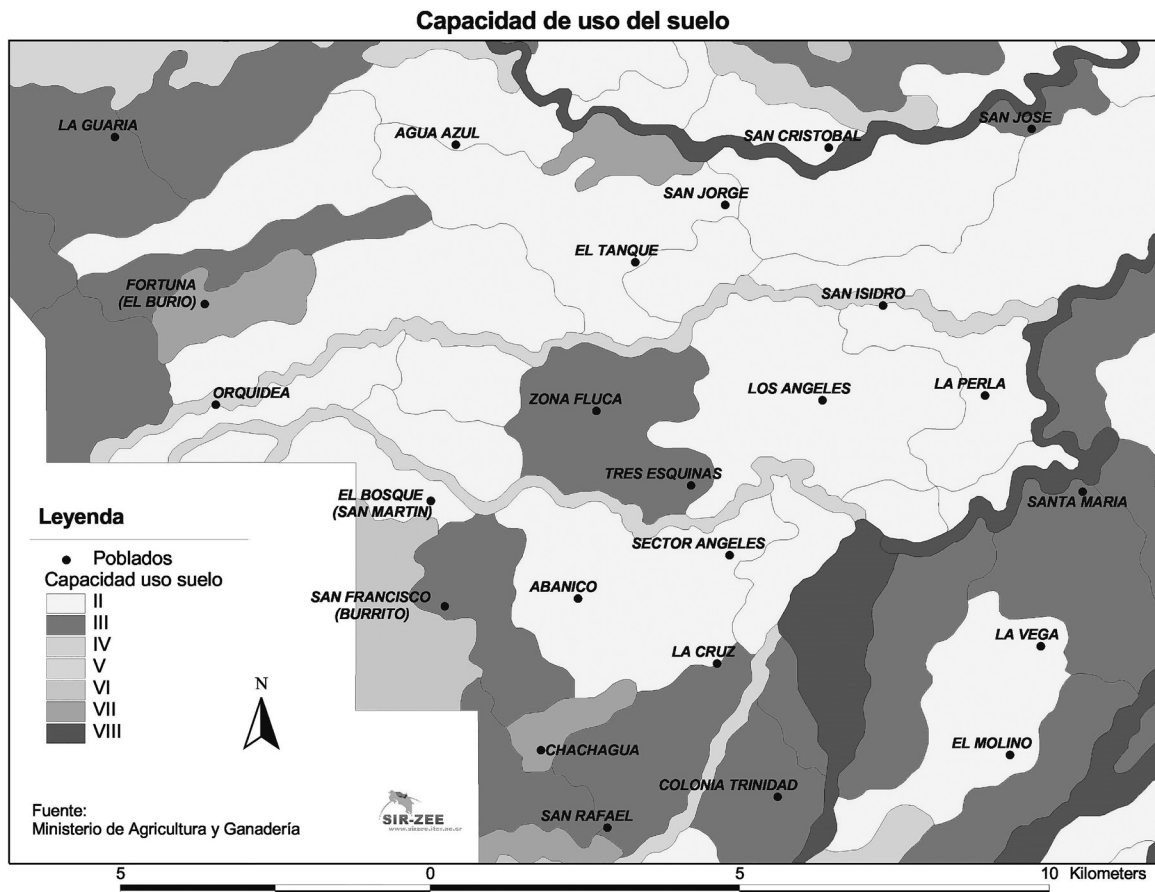


Figura 2. Uso del suelo en la franja de estudio.

Un hecho importante fue el establecimiento en la década de 1970, con la participación del IDA, de varios asentamientos campesinos, como Zonafluca, Sector Ángeles, El Burrito o El Brujo (ver figura 3), que en los primeros años se dedicaban a la ganadería, el cultivo de plátano y los granos básicos, pero que desde 1990 incursionan en la producción de raíces y tubérculos, con el predominio de la yuca (Rodríguez, 2003a). En la actualidad, estas son las principales actividades productivas que ocupan a la población de la franja estudiada, constituyendo a la vez el sustrato económico del tejido social de las comunidades locales.

Las acciones referidas no fueron aisladas sino que formaban parte de un amplio programa del Estado costarricense durante el periodo 1960-1982 (aunque en la zona norte se extendió por algunos años más), cuyo propósito era repartir la tierra, para lo cual fraccionó los baldíos públicos o compró haciendas pertenecientes a grandes propietarios. "Hacia el final del siglo XX, el otorgamiento de parcelas en los asentamientos sumaba ya más de 200.000 hectáreas y beneficiaba a unas 14.000 familias en 186 colonias. Dicha política fundiaria cambió sustancialmente la

estructura agraria regional" (Faure y Samper, 2004: 11). Según Rodríguez y Maitre d'Hotel (2004: 46), fueron 18.000 las familias beneficiadas con el reparto de parcelas. De todos modos, lo importante es destacar que la franja territorial estudiada se benefició mucho con las políticas agrarias durante el periodo desarrollista (1950-1982), políticas que cambiarán a partir de 1982, cuando el Estado dejó de ser un actor de primer orden en la distribución de la tierra en el mundo rural, dejando el acceso al recurso tierra en manos de los mecanismos del "libre mercado" (Rodríguez y Maitre d'Hotel, 2004).

Los agricultores más perjudicados con el cambio de política luego de 1983 serán los productores de alimentos, ya que las políticas del Estado privilegian los productos no tradicionales de exportación (con financiamiento, asistencia técnica, incentivos fiscales, etc.) y, como ya fue señalado, promueven activamente la "reconversión productiva". En la franja estudiada los agricultores debieron asumir este reto (pues la producción de alimentos era una de sus actividades más relevantes); quienes no pudieron hacerlo debieron abandonar la actividad, vender sus parcelas, emplearse en las emparadoras que

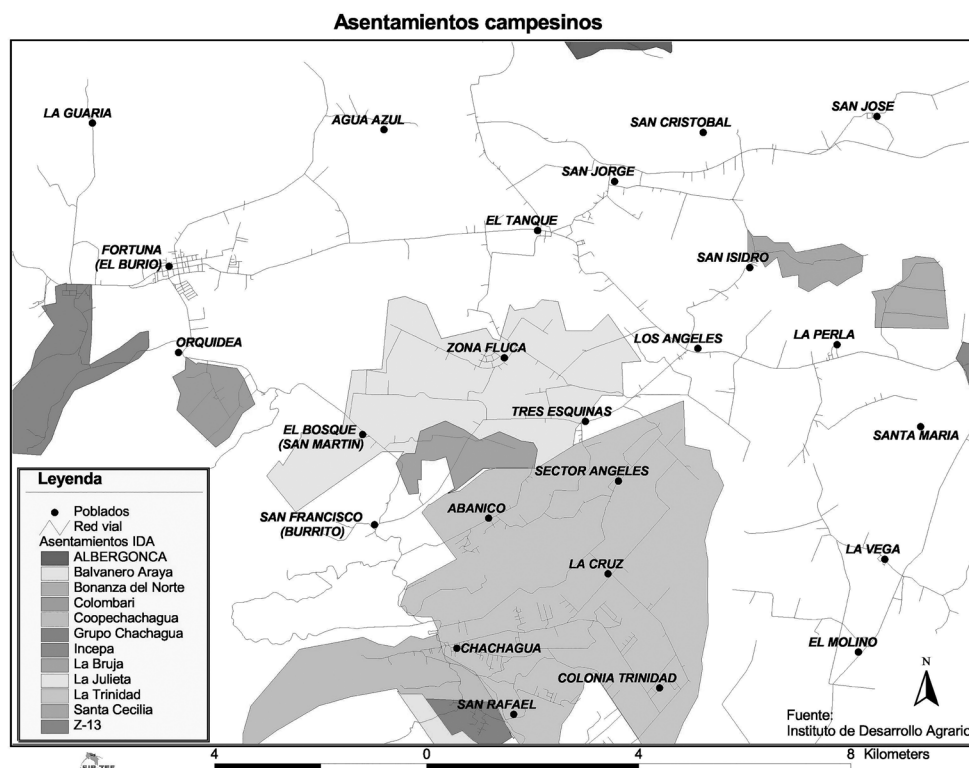


Figura 3. Asentamientos campesinos establecidos en la franja territorial yuquera estudiada.



proliferan en la región desde mediados de la década de 1980 o emigran a los centros urbanos del Valle Central, suerte que también corrieron miles de familias campesinas en el resto del país.

Los datos muestran -y la investigación realizada por los autores así lo corrobora- que en la franja en estudio muchos agricultores pudieron integrarse bien a los grandes mercados internacionales, lo que ha repercutido en un mejoramiento del nivel de vida de parte de su población; sin embargo, la yuca es fundamentalmente un producto étnico (latinoamericanos, asiáticos y africanos) en los principales mercados consumidores (Estados Unidos y Europa). Eso significa que el crecimiento de la exportación de yuca hacia los principales mercados consumidores depende en buena medida del progreso económico y social que obtengan las poblaciones de origen latinoamericano y africano. Esta circunstancia hace vulnerables las exportaciones de yuca cuando esos grupos étnicos se ven afectados por crisis económicas en los países donde residen. Actualmente ese es el caso para muchos residentes latinoamericanos en Estados Unidos, y latinoamericanos y africanos en algunos países europeos, como España o Italia. Estados Unidos y España experimentan desde 2007 una fuerte recesión en el sector de la construcción, que ha dejado sin empleos a miles de inmigrantes oriundos de América Latina.

## Periodización y caracterización históricas de la franja territorial yuquera estudiada

### Época precolombina

Algunos estudios señalan que el poblamiento del actual territorio sancarleño, en donde se ubica la mayor parte de la franja territorial estudiada, se remonta a unos 10 000 años (Guerrero, 1994). Durante este periodo de tiempo los pueblos que la habitaban evolucionaron desde la caza, la pesca y la recolección hasta grupos humanos socialmente estratificados dependientes de la agricultura, que trabajaban la cerámica, la piedra y los metales (Trovo, 1990, Guerrero, 1994). En la región objeto de estudio o en sus alrededores (como en el asentamiento campesino El Jaurí) se han encontrado valiosas piezas arqueológicas, especialmente de piedra (Guerrero, 1994). Guerrero (1994) divide la historia precolombina del norte costarricense, que incluye la franja estudiada, del siguiente modo:

1. Grupos de cazadores y recolectores (10000-2000 AC).
2. Primeros agricultores y aparición de la cerámica (2000-500 AC).
3. Grupos de agricultores tempranos, con la aparición de las primeras jerarquías, correspondiente a los cacicazgos (500 AC-500 DC).

La periodización de Guerrero es muy parecida a la hecha por Fonseca (1992) para la historia precolombina de Costa Rica, aunque Fonseca agrega el cacicazgo evolucionado, que fue la forma de organización social más extendida en suelo costarricense a la llegada de los españoles a mediados del siglo XVI, y que se supone también existió en suelo sancarleño, por lo menos en algunos lugares, como Venecia, concretamente el sitio arqueológico Cutrís, el más importantes hallado hasta ahora en la región (Hoopes, 1994).

Lamentablemente para la franja objeto de investigación no existen estudios más concretos sobre las características demográficas, económicas, sociales y culturales de los pueblos que la habitaron en la época precolombina. Es una de las tantas lagunas que presenta el conocimiento de la historia antigua del país, especialmente de regiones como San Carlos, que siguen ocupando un sitio marginal en la historiografía costarricense. Este desconocimiento no solo es del periodo precolombino, que en este apartado se esboza en sus trazos más generales, sino del conjunto de la historia sancarleña y norteña, aunque justo es reconocer que en los últimos años se vienen haciendo esfuerzos por remediar, aunque sea parcialmente, esta situación.

Es en el último periodo mencionado en la clasificación de Fonseca (1992) cuando se produce un mayor desarrollo civilizatorio: la concentración de la población se intensifica; existen aldeas con varias viviendas y con caminos de piedra, así como calzadas y diversas obras públicas, siendo relevante la presencia de los poderes político y religioso que recaen sobre el cacique, quien al mismo tiempo realiza la redistribución de los bienes y productos, rasgo este característico de los cacicazgos costarricenses (Fonseca, 1992; Ferrero, 1993, 2001).

El proceso productivo se hace con instrumentos de piedra (líticos): tala de bosques, preparación de terrenos; con estos instrumentos se fabrican aquellos utensilios empleados en el procesamiento

de alimentos, como los metates -que constituyen algunos de los más bellos ejemplos de la arqueología precolombina costarricense-, manos de moler, machacadores, morteros y pistilos (Ferrero, 2000).

Existió una diferenciación entre las viviendas de las élites y las del resto de la población. Las élites vivían en las aldeas más importantes construidas con muros de piedras, montículos y caminos. Quienes no pertenecían a ellas habitaban en aldeas más pequeñas, en donde los edificios estaban hechos de madera, mientras las palmas se utilizaban para confeccionar los techos (Ferrero, 2001).

Las aldeas más importantes del norte costarricense, y en especial los personajes principales que en ellas habitaban, tenían gran relación entre sí y con pueblos de otras regiones, como por ejemplo Guanacaste, con los que comerciaban, entre otros productos, cerámica policroma y sal (Hoopes, 1994). Con los pueblos del Atlántico o de la región central comerciaban oro (Guerrero, 1994). En San Carlos se han encontrado sitios con las características anteriormente señaladas en los actuales distritos de Venecia, Pital, Ciudad Quesada (San Vicente) y La Fortuna (donde se ubica la franja investigada) (Troyc, 1990, Guerrero, 1994).

Durante los siglos XVI al XVIII las llanuras del Norte fueron refugio, al igual que las montañas de Talamanca, para muchos indígenas que no querían verse sometidos al trabajo forzado de las encomiendas (Ibarra, 1990, Quirós, 1990). Tanto para la franja estudiada como para el conjunto del actual San Carlos se carece de datos ciertos sobre los grupos humanos que lo poblaron durante estos siglos y los sitios exactos que ocuparon. Un distinguido arqueólogo que ha estudiado la región señala:

Aunque los datos etnohistóricos son incompletos e insuficientes para explicar con exactitud lo que sucedía en la mencionada región (Huetar Norte) desde el siglo XVI hasta el XVIII, lo que hace muy difícil tener un panorama bien claro de los grupos étnicos existentes. Lo que es importante de rescatar es la diversidad cultural que había coexistido en un medio ambiente particular, como lo es el bosque tropical. Para el siglo XVI, y muy posiblemente varios años antes, las llanuras del Norte estaban pobladas por grupos como los Votos, Corobicies, Ramas, Guatuzos y Huetares, todos con una filiación lingüística proveniente del Chibcha. Además,

estaban en relación con grupos Chorotegas y Nicaraos (Guerrero, 1994: 61).

### Historia reciente: de finales del siglo XIX hasta 1950

La franja estudiada, como en general el territorio sancarleño, fue de colonización tardía. La colonización de San Carlos empieza tímidamente a mediados del siglo XIX pero se intensifica a fines de esa misma centuria (Molina, 1978). Esta colonización es una de las consecuencias que tendrá en la sociedad, la economía y la demografía del país la agroexportación cafetalera, ya que promueve la conquista y extensión de la frontera agrícola, siendo la sección occidental del Valle Central en la provincia de Alajuela una de las más rápidamente ocupadas (1830-1880), aspecto de importancia porque con el tiempo de ahí saldrán muchos de los pobladores que en oleadas sucesivas irán arribando a San Carlos, cuyo extenso territorio formaba parte de la móvil frontera agrícola del país (Hall, 1978; González, 1991; Hilje, 1991). Sobre este hecho la historiadora Brunilda Hilje anota que:

Desde el punto de vista de la inmigración nacional, San Carlos está en el límite de la frontera agrícola del proceso colonizador que se inicia en la primera mitad del siglo XIX en el occidente de Alajuela. Fue esa misma región occidental por su cercanía a San Carlos, de donde parten nuevos movimientos migratorios. Palmares, uno de los primeros asentamientos de las migraciones cafetaleras (...) es el que proporciona en mayor medida el elemento humano migrante a San Carlos (Hilje, 1991: 46).

Otros cantones que suministran abundantes colonizadores a San Carlos son Grecia, Naranjo, San Ramón y Alfaro Ruiz (Molina, 1978; Vargas, 1986).

Algunos historiadores no le atribuyen exclusivamente al café la responsabilidad en la extensión de la frontera agrícola del país, sino que añaden otras actividades productivas que también incidieron en ese proceso. Samper (1991), por ejemplo, menciona la ganadería, indicando que a finales del siglo XIX se inicia en las secciones altas del Valle Central la producción de leche, actividad que intensifica la competencia por el uso de los suelos, cuyo principal cultivo seguirá siendo, no obstante, el café. La extensión de las actividades agropecuarias, al tiempo que ahonda el proceso de privatización de las

tierras comunales, herencia de la colonia española, y la concentración de la propiedad, agrava la escasez de tierra, que hizo necesario abrir nuevos frentes de colonización, surgiendo San Carlos como una opción. Por eso, a medida que

los potreros de uso común eran reducidos a dominio particular y dedicados a la agricultura, se hacía necesario incorporar nuevas tierras ganaderas a mayor distancia, de manera que la frontera de colonización era, en buena medida, pecuaria. Al acercarse el fin de siglo, esta expansión de la ganadería había desbordado los límites del Valle Central, por el norte rumbo hacia San Carlos, y también en otras direcciones. (Samper, 1991: 27).

La primera zona de San Carlos en ser ocupada por los migrantes provenientes del occidente del Valle Central estuvo comprendida entre los actuales Santa Clara (distrito de Florencia) y Terrón Colorado (Vargas, 1986). Si embargo, esta colonización tuvo poco éxito en razón de las pésimas vías de comunicación, el inhóspito clima, las enfermedades, etc. (Molina, 1978). Con los asentamientos en el piedemonte (estribaciones del norte de la Cordillera Volcánica Central) a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, con La Unión (luego Ciudad Quesada) como centro más importante, se facilita la ocupación de San Carlos, pues paulatinamente se van poblando los territorios de los actuales distritos de Aguas Zarcas, Venecia, Pital y La Fortuna, este último, en donde se ubica la mayor parte de la franja territorial objeto de estudio, a partir de mediados de la década de 1930 (Molina, 1978; Rodríguez, 2006).

Sobre el carácter de esa primitiva colonización, la citada historiadora Brunilda Hilje señala:

Se conserva el carácter de grupos familiares, las haciendas constituyen el origen de los diferentes poblados. Luego, el pueblo tipo hacienda, con edificios administrativos, casa del dueño y ranchos para peones, desaparece para dar paso a viviendas dispersas, con unidades familiares de producción. Los pobladores pueden catalogarse como propietarios dedicados a cultivos de subsistencia con vínculos comerciales débiles entre sí y los poblados mayores del Valle Central, a causa de las deficiencias de las vías de comunicación. El comercio se orienta hacia Nicaragua, por el Río San Juan y una vía

terrestre que se utiliza para traer ganado de ese país (Hilje, 1991: 48).

Se trata, por tanto, de una agricultura de subsistencia; los pocos excedentes se colocan localmente. En cambio, la actividad ganadera, de acusada relevancia desde los mismos inicios de la economía regional, abastece al mercado de Alajuela y a los pobladores del Valle Central, transformándose en un vínculo económico, aunque débil, entre la región y el resto del país (Molina, 1978).

La economía del cantón -al menos la constituida por los territorios que paulatinamente se van poblando y son puestos a producir- mantendrá ese carácter hasta mediados del siglo XX, cuando puede afirmarse que se integra plenamente al resto de la economía costarricense (con la leche, la madera, los granos básicos, el azúcar, los tubérculos, etc.) y al mercado internacional con productos como la carne y el azúcar. La expansión económica y de la frontera agrícola atrae gran cantidad de inmigrantes, que provienen de los cantones vecinos y de lugares como Puntarenas, Guanacaste y Puriscal (Molina, 1978).

### Integración al mercado nacional e internacional (1950-1985)

Desde la década de 1950 hasta mediados de la de 1970, San Carlos será un importante destino para las corrientes migratorias costarricenses, registrando tasas muy favorables en la relación migración/inmigración (Molina, 1978). La razón de ello es sencilla: el norte sancarleño y los cantones fronterizos con Nicaragua, junto a las llanuras del Atlántico y a las de la Fila Costeña en la zona sur del país, se convierten en la última frontera agrícola para quienes buscar reproducir su condición de productores independientes, y que ya no encuentran sitio ni en Guanacaste ni en el Valle Central (Rodríguez, 2002).

Incluso en las más antiguas regiones colonizadas de San Carlos se clausuran las posibilidades de acceder a la propiedad de la tierra, lo que motiva a muchas familias sancarleñas a unirse a los inmigrantes de otras partes del país con el objetivo de poblar las extensas llanuras del norte (Rodríguez, 2002). Varios de estos migrantes se dirigen hacia la zona seleccionada en esta investigación, cuyos bosques son desmontados para dejar paso a las sementeras, los potreros y los pastizales (Rodríguez, 2003a,b).

A medida que avanzan y se agotan los frentes de colonización, la tierra -cuya propiedad experimenta un progresivo acaparamiento, motivo posterior de varios conflictos agrarios- se dedica en su mayor parte a la ganadería extensiva de carne, aunque también a productos comerciales como la caña de azúcar (Molina, 1978). La tierra restante está constituida por suelos de poca calidad, con vocación forestal, poco aptos para fines agrícolas y aún menos para la ganadería (MAG, 2000), situados en lugares de difícil acceso, con pésimas vías de comunicación para sacar al mercado la producción, al principio de subsistencia pero que a medida que se profundizan las relaciones capitalistas en el agro sancarleño se dirige más al mercado (Rodríguez, 2002).

Este gran movimiento colonizador llega hasta principios de la década de 1980, cuando la frontera agrícola de San Carlos se acaba. En adelante los campesinos que por alguna razón pierdan sus tierras ya no tienen a su alcance frentes agrícolas hacia los cuales dirigirse para reconstituir su condición de productores independientes, enfrentándose a la alternativa de proletarizarse o emigrar, hechos ambos que se aceleran a partir de mediados de esa década, cuando se inició un nuevo ciclo histórico para el agro costarricense (Estado de la Nación, 1996, Rodríguez y Maitre d'Hotel, 2004, Faure y Samper, 2004).

En estos sitios apartados de la frontera agrícola, la presencia del Estado durante casi todo este periodo será marginal y, con frecuencia, inexistente, por lo cual la población tendrá muchas dificultades para acceder a los servicios básicos (electricidad, acueductos), sociales (educación, salud, vivienda, recolección de basura, etc.) y los relacionados con la producción (crédito y asistencia técnica). (Rodríguez, 2002). Como la producción de estos lugares tenía serios obstáculos para integrarse al resto de la economía del país y no se dirigía al mercado externo, sector privilegiado por las políticas públicas de inversión social y de infraestructura, el Estado costarricense no se preocupa por tener una activa presencia en ellos. Junto a la explotación económica de los intermediarios, que compran la producción a precios irrisorios, estos campesinos y sus familias se ven abandonados por un Estado que concentra sus actividades y programas en las zonas urbanas o en las áreas rurales ligadas más estrechamente a los mercados nacionales e internacionales. Estos productores perderán sus tierras y emigrarán al

centro del país cuando las políticas aperturistas y de marcado sesgo anticampesino se implementen a partir de 1985 (Faure y Samper, 2004).

Como se verá luego, sobrevivirán los productores capaces de adaptarse a los nuevos tiempos y sus exigencias. Los productores de la franja objeto de estudio constituyen uno de los ejemplos exitosos de reconversión productiva y de integración a los mercados internacionales con nuevos productos de exportación, como las raíces y tubérculos, aunque no en condiciones plenamente satisfactorias (Weller, 1997).

Durante este periodo, a cambio de los productos agropecuarios y de las materias primas, San Carlos recibirá bienes industriales de las empresas asentadas en los principales centros urbanos del Valle Central. La economía de San Carlos se especializa en la producción de materias primas agropecuarias y forestales destinadas a las empresas asentadas en el Valle Central o fuera del país. El valor agregado de la producción regional se genera externamente. Esto significa que los empleos y la riqueza también se generan externamente a la región (Rodríguez, 2001). Analizando las consecuencias de estas asimetrías entre regiones desde el periodo desarrollista (1950-1982) en adelante, brecha que tiende a ensancharse por los principios que conducen la actual administración neoliberal del Estado, escribe José Luis Vega:

Hemos asistido al hecho de que se produjo, en casi todas las regiones periféricas, una importante transferencia de ingresos fuera del sector agrícola, con la consiguiente contracción y aumento local de la pobreza, o al menos la imposibilidad de superarla; eso, a su vez, ha rendido evidentes beneficios a los sectores urbano-industriales y burocráticos (bajos precios de los artículos y alimentos, y materias primas baratas) radicados en la poderosa región central del país. Por otra parte (...) la mencionada penalización y hasta saqueo del sector agrícola ha repercutido y seguirá repercutiendo sobre un acrecentamiento del desequilibrio regional mayor; es decir, aquel que se da entre la región central y el resto de las periféricas que se han transformado en una especie de 'bloque' territorial unitario, subprivilegiado y marginal en muchos aspectos (Vega, 1997: 25).

Esta es una de las principales razones que explican el limitado dinamismo que históricamente han pre-

sentado las actividades productivas de la región, que se continúa en los nuevos productos de exportación que se van a imponer luego de 1985, y que se expresa en las dificultades para mantener en el largo plazo tasas sostenidas de crecimiento, para darle valor agregado a la producción y para establecer vinculaciones fuertes con los distintos sectores de la economía regional. Adicionalmente, el bajo nivel tecnológico y la casi nula innovación del modelo de exportación no tradicional han sido señalados por autores como Sepúlveda et al. (2002), (Fernández, 2004) y Vargas (2002, 2007) como causantes del escaso dinamismo de estas actividades, así como de su limitada capacidad para influir positivamente en otras actividades económicas fuera del sector estrictamente agropecuario, lo cual también incide en que los espacios rurales que albergan ese tipo de producción y de empresas no estén en capacidad de iniciar procesos sostenidos de desarrollo socioeconómico, al tratarse de actividades y empresas agropecuarias (y agroindustriales) poco competitivas, incapaces de gestar procesos de innovación tecnológica acumulativos dentro del propio sector; y expansivos hacia otros sectores económicos y otros ámbitos territoriales. Esta situación es generalizable al conjunto de la agroexportación costarricense (Fernández, 2004; Rovira, 2004; Vargas, 2007).

La franja territorial investigada es un ejemplo de lo que acaba de afirmarse, y que se plasma en estudios previos realizados en algunas comunidades de la franja (Rodríguez, 2003a,b) y en los propios resultados del presente trabajo.

Así como actividades de gran innovación tecnológica y alta competitividad transmiten su dinamismo o otras actividades y regiones, la ausencia de tales características tiene el efecto contrario, condenando las zonas rurales a crisis cíclicas, al estancamiento económico y a bajos niveles de desarrollo humano, social y ambiental (Pérez, 2001; Carmen, 2004; Vargas, 2007).

Esta situación no es casual ni paradójica, sino la consecuencia de un modelo de crecimiento diseñado para facilitarle las condiciones de inversión, ganancia y acumulación a los grandes actores de la globalización (las empresas transnacionales, precisamente), y no para crear dinámicas autónomas, ya sean regionales o nacionales, de desarrollo autocentrado. Aunque este modelo pueda generar desarrollo socioeconómico en territorios que hayan aprove-

chado las oportunidades ofrecidas, el éxito siempre es limitado y no sostenible en el tiempo. Un autor recapitula muchas de las reflexiones de los párrafos anteriores con estas palabras:

La globalización significa la creación de un mercado mundial cada vez más integrado, que responde a las necesidades de las unidades económicas dominantes en el mundo actual, las empresas transnacionales. Esto supone una reestructuración relativa de las relaciones económicas, en la que todos los espacios, por así decirlo, deben ser libres para ese capital globalizado. *En este sentido, los espacios para esquemas de desarrollo estructural, basados en un crecimiento armónico de los diversos sectores económicos y asentados en un desarrollo importante de los mercados internos y regionales, son prácticamente inexistentes, ya que no son funcionales, sino, más bien, contradictorios con los intereses de las grandes transnacionales (...).* Esto no significa sino volver a los parámetros tradicionales del subdesarrollo, bajo los cuales nuestros países han especializado sus economías en función del mercado mundial, consagrando en nuestro caso con su vocación agroexportadora de productos tropicales, en condiciones totalmente desfavorables en el mercado mundial respecto a las condiciones de venta y precios. La división internacional del trabajo, bajo la égida de la globalización, significa la consagración en el altar del neoliberalismo y la dominación mundial del capitalismo, *de nuestra condición de países subdesarrollados y dependientes, con economías que solo son funcionales en el marco del intercambio desigual. Esta forma de vinculación con la economía global no significa otra cosa que el mantenimiento de la pobreza y el subdesarrollo, y condiciones de vida deficitarias para la mayoría de la población*" (Fernández, 2004: 229-231, cursivas nuestras).

Las desventajas de esta asimetría para San Carlos y otras zonas periféricas costarricenses ya fueron estudiadas con detalle en el trabajo pionero de Altemburg et al. (1990), quienes aconsejaban darle mayor valor agregado a la producción regional mediante la agroindustria como motor principal de un proceso que incluiría otras ramas productivas (como la metalmecánica, por ejemplo). Este proceso debería conducir, según Altemburg et al. (1990), a la formación de empresas regionales cada vez más

vinculadas entre sí (al interior de lo que denominaron complejos agroindustriales, encadenamientos hacia adelante y hacia atrás dentro de un producto agropecuario determinado, y entre estos complejos agroindustriales y otros sectores de la economía regional, como el industrial, el financiero, el comercial o el de transportes) que favorecerían la creación de empleos con mano de obra calificada y adecuadas remuneraciones. Esta propuesta se encaminaba a paliar una situación de "colonialismo interno", ya que reproducía en el plano nacional la situación de dependencia y explotación que la economía costarricense experimenta respecto a los países más desarrollados (Rodríguez, 2001, 2002).

Es imposible abordar estudios sobre la producción y agroexportación en territorios rurales sin considerar el atraso relativo que el agro ha tenido históricamente (y que se expresa, entre otros aspectos, en sus mayores índices de pobreza, analfabetismo, hacinamiento, menor cobertura del seguro social, menor acceso a los servicios básicos, emigración, etc.) y, aspecto ya mencionado, el papel marginal que las políticas del Estado le han asignado, especialmente en la inversión pública (Estado de la Nación, 1997, Pérez, 1997, Román, 1997).

Por eso, cualquier estudio sobre el agro debe considerar esta desventaja histórica de las comunidades rurales, que con el tiempo provoca que los déficits económicos, sociales e institucionales acumulados sean más difíciles de resolver; situación que se complica cuando, como ha venido sucediendo en Costa Rica en los últimos 25 años, la inversión pública está sometida a diferentes restricciones (Rovira, 2004, Vargas, 2007, Sojo, 2008).

Trabajos posteriores como los de Sepúlveda (2002), Chavarría y Sepúlveda (2002) y Rojas et al. (2002) coinciden con dicho diagnóstico, enfatizando la importancia de los distintos vínculos que las empresas ubicadas dentro de un cierto ámbito territorial deberían establecer para conformar lo que denominan "cadenas productivas". En estos trabajos se vuelve a poner de relieve la importancia de la organización de los productores y el factor institucional como catalizadores de procesos regionales de desarrollo ambientalmente sostenibles, socialmente equitativos y sostenidos en el tiempo.

Para Sepúlveda et al. (2003), Mora (2007) y Sojo (2008), el papel de las instituciones públicas es clave y sus acciones deberían encaminarse en una doble vía: el mejoramiento de las condiciones de vida de la población (educación, salud, vivienda, servicios básicos) y el mejoramiento de la competitividad de las empresas (investigación y transferencia tecnológica, capacitación, construcción de infraestructura, etc.). Pero de acuerdo con Sharp (1997) y Sobrado y Rojas (2006), el grado y la magnitud de la intervención pública depende en buena medida del nivel organizativo interno (empresarial y/o comunal) y de su capacidad de incidencia en la toma de decisiones del Estado.

Sin embargo, como se indicara, las últimas décadas han visto la implementación de políticas tendientes a reducir los alcances de la intervención estatal, políticas que han tenido serios impactos especialmente en el mundo rural, según lo discuten trabajos como los de Román (1997), Spoor (2001), Tejo (2001) y Vargas (2002, 2007). Por su relevancia, tales aspectos serán retomados posteriormente como insumo teórico para analizar la situación observada en la franja territorial bajo estudio.

Recapitulando lo comentado en los párrafos precedentes, otorgar valor agregado a la producción es un reto tan imperativo como ineludible para las empresas, la economía y la sociedades locales o microrregionales, diagnóstico en el que coinciden, aparte de los autores mencionados, los estudios y análisis del Estado de la Nación (1997) -cuyo capítulo especial estaba dedicado a San Carlos y la región Huetar Norte-, Fernández (2004) o Láscaris (2004).

### La nueva agroexportación y sus consecuencias socioeconómicas (1985 al presente)

La relación de la economía regional (San Carlos y comunidades que sin pertenecer a su ámbito territorial, sí mantienen con él estrechas vinculaciones económicas y sociales, caso de los distritos ramoneses de Peñas Blancas, Chachagua y Bajo Rodríguez, o de Río Cuarto, distrito de Grecia) con el mercado internacional se verá fortalecida a partir de la década de 1980 con una gran variedad de nuevos productos (piña, naranja, raíces y tubérculos como la yuca, especies, ornamentales, entre otros) y servicios (el turismo, fundamentalmente) (Rodríguez, 2006).

Esto iba a significar para muchas empresas agropecuarias intensos, y a veces acelerados, procesos de reconversión productiva, exitosos en algunos casos, fallidos en otros. Autores como Mora (1990), Fernández (1994, 1996), Monge (1994), Morera, (1996), Pérez (1997), Rivera y Román (1997) o Rodríguez y Maitre d'Hotel (2004) en su momento estudiaron la forma en que evolucionaban las exportaciones de los productos no tradicionales, priorizando los obstáculos enfrentados por los agricultores que se estaban pasando a los nuevos productos de exportación, especialmente quienes se habían dedicado a otras actividades. Entre las principales causas señaladas por esos autores, y que obstaculizaron o de plano impidieron la "reconversión" de muchos pequeños y medianos productores, estaban las siguientes:

- La falta de experiencia en los nuevos productos, pues efectivamente pasar de producir maíz a las plantas ornamentales, las frutas o las especies no es sencillo para quien se ha dedicado toda su vida a un determinado cultivo.
- La ausencia de suficiente capital para afrontar los costos de inversión requeridos por los nuevos cultivos.
- Las exigencias técnicas de las empresas comercializadoras, que usualmente implicaban gastos o experticias de las cuales carecían los productores en proceso de reconversión.
- Muchos de los nuevos cultivos necesitaban varios años para brindar resultados económicos satisfactorios, tiempo del que no disponían los productores pequeños y medianos, cuyas capacidades de acumulación y reinversión en tales actividades eran pocas.
- El alto costo del paquete tecnológico requerido por los nuevos cultivos.
- Carencia de una adecuada asistencia técnica.

Un estudio realizado en comunidades situadas dentro de la franja territorial incluida en la presente investigación (o en comunidades vecinas a ella) verifica parcialmente las razones aducidas por los autores arriba citados (Rodríguez, 2003a,b). Sin embargo, algunos de estos autores, como Reuben (1990), Rivera y Román (1990) y otros como Román y

Rojas (1993), Stamm (1996) o Weller (1996) indican que, junto a microrregiones ubicadas en el Valle Central, una de las regiones costarricenses que mayor éxito han tenido con los nuevos productos de exportación ha sido precisamente el cantón de San Carlos, al menos la sección sur de la cuenca del río San Carlos, a la que Rodríguez (2001) denomina el "San Carlos histórico", por ser la que primero logró modernizar su sector agropecuario y la que mejor ha podido integrarse a los mercados nacional e internacional, razones que explican su privilegiada posición dentro de la inversión pública destinada al norte costarricense. La franja territorial seleccionada para esta investigación es ejemplo del relativo éxito obtenido con la agroexportación no tradicional. Sin embargo, quienes no pudieron "reconvertirse" en el agro costarricense durante las pasadas décadas, incluyendo regiones relativamente "exitosas" como San Carlos, debieron vender o entregar sus tierras, emplearse como fuerza de trabajo en las fincas, haciendas y empacadoras o emigrar a otras regiones, sobre todo al centro del país.

La afirmación anterior, empero, debe matizarse, pues, aunque desde fines de la década de 1980 existen estudios que analizaron este fenómeno de "descampesinización" y el consecuente colapso de la producción de granos básicos, desarrollado marcos teóricos para intentar explicarlo como parte de las nuevas dinámicas de acumulación de capital y transnacionalización del agro y sus repercusiones en los ámbitos locales (Faure y Samper, 2004 es un buen ejemplo), no hay trabajos que sobre una base empírica hayan podido cuantificar el fenómeno descrito, esto es, el número de personas y familias que abandonaron sus tradicionales actividades productivas y emigraron hacia otras regiones e incluso fuera del país (Estados Unidos, en primer lugar). En otras palabras, se trata de un fenómeno constatado pero aún no suficientemente cuantificado ni analizado.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por financiar el proyecto "Mejoramiento de la eficiencia en el proceso productivo de la yuca", del cual se derivó este artículo.

## Bibliografía

- Altemburg, T., Hein, W. & Weller, J. (1990). *El desafío económico de Costa Rica. Desarrollo agroindustrial autocentrado como alternativa*. San José: Editorial DEI.
- Barquero, M. (2010). Exportaciones y precio de yuca se desploman. Consultado: 14 de mayo 2010. Obtenido desde: <http://www.nacion.com/2010-03-12/Economia/NotasSecundarias/Economia2298587.aspx>.
- Carmen, R. (2004). *Desarrollo autónomo*. Heredia, CR: Editorial de la Universidad Nacional. 343 pp.
- Chavarría, H. & Sepúlveda, S. (2002). Factores económicos y no económicos de la competitividad. (pp.107-184). En: Chavarría, H., Sepúlveda, S. & Rojas, P. (Comps.). *Competitividad. Cadenas agroalimentarias y territorios rurales*. San José: IICA.
- Faure, G. & Samper, M. (2004). Veinte años de apertura económica: el porvenir comprometido de la agricultura familiar en el norte de Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos* 30 (1-2): 7-26.
- Fernández, M. (2006). El Tratado de Libre Comercio: Repercusiones de la apertura del mercado en el sector agropecuario de Costa Rica. (pp. 77-113). En: Trejos, M.E. & Fernández, M. (Eds.). *Tratado de Libre Comercio Estados Unidos-Centroamérica-República Dominicana. Estrategia de tierra arrasada*. San José: EUNED.
- Fernández, M. (2004). *La agricultura costarricense ante la globalización. Las nuevas reglas del comercio internacional y su impacto en el agro*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica. 322 pp.
- Fernández, M. (1994). La integración de la agricultura en la región centroamericana en el marco de los procesos de apertura. (pp. 89-152). En: Masís, G. & Sancho, F. (Comps.). *La Agricultura de Exportación en Centroamérica: opciones de desarrollo en la década de los 90*. San José: UNA.
- Fernández, M. (1996). La reconformación de la integración económica en América Central y la agricultura costarricense: perspectivas y estrategias para los diferentes subsectores. (pp. 245-272). En: Nuhn, H. & Stamm, A. *Apertura comercial en Centroamérica: Nuevos retos para la agricultura*. San José: Editorial DEI.
- Ferrero, L. (2000). *Costa Rica Precolombina* (6ª. reimp. de 1ª. ed.). San José: Editorial Costa Rica. 488 pp.
- Ferrero, L. (1993). *Los cacicazgos teocráticos*. San José: Ministerio de Cultura-Comisión Costarricense V Centenario del Descubrimiento de América. 98 pp.
- Ferrero, L. (2001). *Entre el pasado y el futuro*. San José: Editorial Costa Rica. 248 pp.
- Fonseca, J. & Saborío, D. (2001). *Tecnología postcosecha de yuca fresca parafinada (Manihot esculenta Crantz) para exportar en Costa Rica*. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería. 56 pp.
- Fonseca, O. (1992). *Historia Antigua de Costa Rica: surgimiento y caracterización de la primera civilización costarricense*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica. 260 pp.
- González, E. (1991). *Evolución histórica de la población de Costa Rica (1840-1940)*. San José: EUNED (Fascículo 9 serie Nuestra Historia). 84 pp.
- González, O. (2006). *Relaciones entre empresas, mercadeo y globalización*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica (Serie Cuadernos de Historia de la Cultura No. 18), 58 pp.
- Guerrero, J. (1994). Arqueología de la Región Huetar Norte. En: Rodríguez, F. & Corrales, A. (Comp. y Ed.). *Memoria Segundo Congreso Nacional de Folclore y Cultura Popular*. Cartago: Taller de Publicaciones del ITCR.
- Hall, C. (1978). *El café y el desarrollo histórico-geográfico de Costa Rica*. San José: Editorial Costa Rica-Universidad Nacional. 210 pp.
- Hilje, B. (1991). *La colonización agrícola de Costa Rica (1840-1940)*. San José: EUNED (Fascículo 10 serie Nuestra Historia), 90 pp.
- Hoopes, J. (1994). *Arqueología del Guanacaste oriental*. *Revista Vínculos* 18/19(1-2): 69-90.
- Ibarra, E. 1990. *Las sociedades cacicales de Costa Rica (siglo XVI)*. San José, Editorial de la Universidad de Costa Rica (Colección Historia de Costa Rica), 248 pp.
- Láscaris, T. (2004). *Innovación tecnológica y competitividad productiva en Costa Rica*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 156 pp.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2000). *Estudios de suelos y capacidad de uso de las tierras para la zonificación agropecuaria de las regiones Huetar Norte, Atlántica y Brunca. Informe Final Región Huetar Norte*. San José: MAG. 255 pp.
- Molina, R. (1978). *El proceso histórico-geográfico de la colonización agrícola en San Carlos (1850-1977)*. Tesis. Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica, 307 pp.
- Monge, H. (1994). Funcionamiento e implicaciones de la producción agrícola no tradicional: El caso de Costa Rica. (pp. 371-457). En: Masís, G. & Sancho, F. (Comps.). *La agricultura de exportación en Centroamérica: opciones de desarrollo en la década de los 90*. San José: UNA.
- Mora, J. (2007). *La vía cooperativa de desarrollo del agro. El caso de Copronaranjo R.L*. Heredia, CR: Editorial Universidad Nacional. 262 pp.
- Mora, J. (1990). Los campesinos y la exportación de productos agropecuarios. (pp. 181-209). En: Reuben, W. (Comp.). *Los campesinos frente a la nueva década. Ajuste estructural y pequeña producción agropecuaria en Costa Rica*. San José: Editorial Porvenir-CECADE.
- Morera, L. (1997). Organizar a los productores: ¿la llave para el acceso de la pequeña y mediana empresa al mercado mundial? (pp. 173-194). En: Nuhn, H. & Stamm, A. *Apertura comercial en Centroamérica: Nuevos retos para la agricultura*. San José: Editorial DEI.



- Pérez, J. (2001). Globalización, Territorialidad y Comunidad: Reflexiones sobre las dinámicas locales. (pp. 189-280). En: Pérez, J.P. et al. *Globalización y Comunidades en Centroamérica*. San José: FLACSO.
- Pérez, L. (1997). *Apertura económica: Ventajas o desventajas para la pequeña producción agropecuaria? Perspectivas Rurales 1*: 25-42.
- Proyecto Estado de la Nación. (1996). *Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe 1996*. San José: Proyecto Estado de la Nación.
- Proyecto Estado de la Nación. (1997). *Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe 1997*. San José: Proyecto Estado de la Nación.
- Quirós, C. (1990). *La era de la encomienda*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica (Colección Historia de Costa Rica). 380 pp.
- Reuben, W. (1990). El potencial de la economía campesina en la reactivación económica y el desarrollo de Costa Rica. (pp. 213-241). En: Reuben, W. (Comp.): *Los campesinos frente a la nueva década. Ajuste estructural y pequeña producción agropecuaria en Costa Rica*. San José: Editorial Porvenir-CECAD.
- Rivera, R. & Román, I. (1990). Ajuste estructural y alternativas productivas para los pequeños productores. (pp. 141-180). En: Reuben, W. (Comp.). *Los campesinos frente a la nueva década. Ajuste estructural y pequeña producción agropecuaria en Costa Rica*. San José: Editorial Porvenir-CECADE.
- Rodríguez, F. (2001). *Región, Identidad y Cultura. Algunas reflexiones a partir del caso de San Carlos*. San José: Ediciones Perro Azul.
- Rodríguez, F. (2002). La cuenca del río San Carlos. Caracterización histórica, económica, social y ambiental. (pp. 18-67). En: Rodríguez, Francisco y Chaves, Adolfo (Comp.). *Estudios sobre la cuenca del río San Carlos*. Cartago: Taller de Publicaciones del ITCR.
- Rodríguez, F. (2003a). *Caracterización de los sistemas productivos y de las prácticas culturales en la subcuenca del río Peñas Blancas, cuenca del río San Carlos*. *Pensamiento Actual* 4(5): 24-34.
- Rodríguez, F. (2003b). Formas de laboreo, prácticas culturales y organización de la producción en la subcuenca del río Javillos. *Tecnología en Marcha* 16(1): 80-91.
- Rodríguez, N. & y Maitre d'Hotel, E. (2004). Las organizaciones frente a la evolución de las políticas públicas en Costa Rica: una relectura histórica de las estrategias de las organizaciones de productores agrícolas de la región Huetar Norte. *Anuario de Estudios Centroamericanos* 30(1-2): 27-50.
- Rodríguez, F. (2006). Formas de laboreo, prácticas culturales y organización de la producción en la subcuenca del río Peñas Blancas, cuenca del río San Carlos. (pp. 106-144). En: Rodríguez, F. & Chaves, A. (Comp.). *Valoración del recurso hídrico de la cuenca del río San Carlos*. Cartago: Taller de Publicaciones del ITCR.
- Rojas, P., Chavarría, H., Romero, S. & Sepúlveda, S. (2002). Complejos productivos: de la teoría a la práctica. (pp. 185-219). En: Chavarría, H., Sepúlveda, S. & Rojas, P. (Comps.). *Competitividad. Cadenas agroalimentarias y territorios rurales*. San José: IICA.
- Román, I. & Rojas, M. (1993). *Agricultura de exportación y pequeños propietarios en Costa Rica*. San José: FLACSO (Cuadernos de Ciencias Sociales No. 61).
- Román, I. (1997). Tendencias de cambio social en el proceso de modernización agrícola costarricense (1990-1996). *Perspectivas Rurales 1*: 72-84.
- Rovira, J. (2004). El nuevo estilo nacional de desarrollo de Costa Rica 1984-2003 y el TLC. (pp. 309-346). En: Florez-Estrada, M. y Hernández, G. (Eds.). *TLC con Estados Unidos. Contribuciones para el debate*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Samper, M. (1991). *El trabajo en la sociedad rural costarricense (1840-1940)*. San José: EUNED (Colección Nuestra Historia No. 11). 82 pp.
- Sepúlveda, S. (2002). *Desarrollo sostenible microrregional. Métodos para la Planificación Local*. San José: IICA. 314 pp.
- Sepúlveda, S., Rojas, P. & Chavarría, H. (2002). Competitividad y cadenas agroalimentarias. (pp. 29-62). En: Chavarría, H.; Sepúlveda, S.; Rojas, P. (Comps.). *Competitividad. Cadenas agroalimentarias y territorios rurales*. San José: IICA.
- Sepúlveda, S., Rodríguez, A., Echeverri, R. & Portilla, M. (2003). *El enfoque territorial del desarrollo rural*. San José: IICA. 157 pp.
- Sharp, R. (1997). Organizarse para el cambio: el poder del pueblo y el papel de las instituciones. (pp. 63-100). En: Sepúlveda, S. & Edwards, R. (Comps.). *Desarrollo Sostenible. Organización Social, Marco Institucional y Desarrollo Rural*. San José: IICA.
- Sobrado, M. & Rojas, J. (2006). *América Latina: crisis del Estado clientelista y la construcción de repúblicas ciudadanas*. Heredia, CR: Editorial de la Universidad Nacional. 227 pp.
- Sojo, C. (2008). *La modernización sin Estado. Reflexiones en torno al desarrollo, la pobreza y la exclusión social en América Latina*. San José: FLACSO. 256 pp.
- Spoor, Max. (2001). Incidencia de dos décadas de ajustes en el desarrollo agrícola de América Latina y el Caribe. (pp. 135-164). En: David, B. (Comp.). *Desarrollo Rural en América Latina y el Caribe*. Santa Fé de Bogotá: CEPAL-ALFAOMEGA.
- Stamm, A. (1996). ¿Una nueva dinámica para las zonas rurales? Relaciones intersectoriales y efectos territoriales del cambio en el modelo de desarrollo de Costa Rica. (pp. 23-48). En: Nuhn, H. & Stamm, A. *Apertura comercial en Centroamérica: Nuevos retos para la agricultura*. San José: Editorial DEI.
- Tejo, P. (2001). El modelo agrícola de América Latina en las últimas décadas. (pp. 89-134). En: David, B. (Comp.). *Desarrollo Rural en América Latina y el Caribe*. Santa Fé de Bogotá: CEPAL-ALFAOMEGA.
- Troyo, E. (1990). *San Carlos dentro del marco arqueológico costarricense*. *Revista AKBAL 1*: 6-7.
- Vargas, A. (1986). *Sinopsis histórica del cantón de San Carlos*. Ciudad Quesada: Municipalidad de San Carlos-Grupo Cultural Trapiche. 84 pp.

- Vargas, L.P. (2002). *Costa Rica. 1985-1997. Liberalización y ajuste estructural o la autodestrucción del neoliberalismo*. San José: EUNED, 374 pp.
- Vargas, L.P. (2007). *La estrategia de liberalización económica (Periodo 1980-2000)*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica Serie Cuadernos de Historia de las Instituciones de Costa Rica, No. 9). 68 p.
- Vega, J.L. (1997). Panorama de la pobreza rural en Costa Rica: Una visión regional. (pp. 17-26). En: Pérez, L. (Ed.). *Desarrollo rural sostenible en Costa Rica: Avances y perspectivas*. San José: Editorial Porvenir-CECADE.
- Weller, J. (1996). Efectos del ajuste estructural en el empleo y los ingresos agropecuarios, con énfasis en las exportaciones no tradicionales. Los casos de Costa Rica y Honduras. (pp. 195-224). En: Nuhn, H. & Stamm, A. *Apertura comercial en Centroamérica: Nuevos retos para la agricultura*. San José: Editorial DEI.

# Propuesta de aprendizaje bimodal para mejorar los primeros cursos de matemática en la universidad. La situación de la Universidad Nacional

Proposal of blended learning to improve the  
first mathematics courses at the University.  
The situation of the Universidad Nacional

*Yuri Morales-López<sup>1</sup>*

*Fecha de recepción: 24 de junio del 2013  
Fecha de aprobación: 28 de octubre del 2013*

Morales-López, Y. Propuesta de aprendizaje  
bimodal para mejorar los primeros cursos  
de matemática en la universidad. La situación  
de la Universidad Nacional. *Tecnología en  
Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág. 107-116

## Palabras clave

Matemáticas universitarias; tecnologías de la información y comunicación (TIC); educación matemática; Moodle.

## Resumen

El curso Matemática general, código MAX084, de la Universidad Nacional de Costa Rica está diseñado para fortalecer los conocimientos básicos en matemáticas y así asegurar que los estudiantes dispongan de los requisitos para un curso de cálculo. Pero los resultados obtenidos desde 2007 evidencian debilidades y dificultades de los cursantes. Entre los múltiples factores involucrados están el escaso tiempo con que se cuenta en las sesiones presenciales para ofrecer más ejemplos relevantes, tiempo para reforzar conocimientos de secundaria y cantidad de ejercicios que se pueden revisar. En esta propuesta se crea un insumo para el mejoramiento de la actividad en este curso, impartido por la Escuela de Matemática de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) a diferentes carreras y facultades. El objetivo es transformar el entorno tradicional de este curso mediante la incorporación de lo virtual en las prácticas de enseñanza utilizando la plataforma Moodle. Esto supone una evolución de los procesos actuales del quehacer académico en la UNA, de las herramientas disponibles y un cambio cultural en todo el proceso.

## Keywords

College mathematics; information and communications technology (ICT); mathematics education; Moodle.

## Abstract

The General Mathematics course code MAX084 is designed to strengthen basic skills in mathematics precollege and thus ensure that students have the requirements for a calculus course. But the results obtained since 2007 reveal certain weaknesses and difficulties of students. Among the many factors involved are the small amount of time in which is told in the sessions to provide more relevant examples, time to strengthen high school knowledge and the amount of exercise to review. This proposal creates an input for the improvement of the activity in the General Mathematics MAX084 course taught by the Escuela de Matemática de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) to different careers and colleges. The goal is a proposal to transform the traditional setting of MAX084 General Mathematics course by incorporating the virtual in teaching practices with the use of the Moodle platform. This is an evolution of the current processes of existing academic work at UNA, the tools available and a cultural change throughout the process.

---

## Introducción

Las expectativas sobre la educación cambian continuamente, proporcionando un medio útil para redireccionar los esfuerzos. Si se parte de esto, y además de una educación integral y repensada constantemente, muchas dificultades sobre contextualización y sentido de pertenencia sobre el proceso podrían ser atenuadas. Aún así, muchos otros fenómenos internos y externos están presentes. Actualmente, no solo es cuestión de interés si se adquiere conocimiento e información, sino de si es posible utilizarlo y que este uso sea adecuado.

Junto a esto, los cambios en cada etapa del proceso educativo suponen uno de los tantos fenómenos

que pueden influir sobre el aprendizaje de los estudiantes. Como el cambio de primaria a secundaria, la inclusión en la educación superior también conlleva cierta dificultad por los ritmos y tareas que cada etapa supone. En la educación media, en términos universales, se espera poder formar un ciudadano con conocimiento y cultura general. Cada país normalmente ha determinado ciertas características de estos egresados.

En la educación superior, los objetivos son distintos; querer definirlos supondría un acercamiento ineludible a la comprensión de lo que es la profesionalización. Pero junto a la delicada necesidad de formar profesionales subyace una tarea aún más

loable: formar profesionales integrales. En este contexto, no solo se espera un profesional capacitado para realizar una o varias tareas específicas, sino que también supere las expectativas del conocimiento ornamental (como los libros en una repisa) y logre utilizar las herramientas que la educación le ofrece para vivir en armonía con su ser, con los demás y con el planeta.

Otro elemento fundamental es que no se puede seguir percibiendo la matemática y su enseñanza como un acto aislado propio del quehacer de un matemático. Como señala De Guzmán (2007):

*En la comunidad matemática internacional se viene prestando recientemente una gran atención a los medios convenientes para lograr abrir los ojos de amplios sectores de la sociedad hacia los beneficios de todos los órdenes que puede reportar una cultura que integre, del modo debido, ciencia y matemática. (párr. 26).*

Está claro que esta misión no se alcanza aisladamente de los otros procesos como primaria y secundaria; existen nuevas tareas y objetivos en esta nueva etapa de formación. La educación matemática en la universidad también debe estimular y fortalecer los grandes objetivos ya mencionados. Lamentablemente, al menos en Costa Rica, todavía está arraigado un sentimiento de aversión hacia el aprendizaje de las matemáticas. Muchos son los factores involucrados en esto: una mala formación en etapas anteriores, hábitos de estudio y herencias sobre supuestos culturales, entre muchos otros. Autores como Ruiz (2013) lo interpretan así:

*La Matefobia: esta condición de naturaleza cultural, que trasciende sin duda el sistema educativo, conspira para limitar condiciones socioafectivas apropiadas en los estudiantes, padres y madres de familia e incluso docentes a la hora de realizar una construcción de aprendizajes matemáticos significativos y edificantes. (p. 11)*

En este documento se presenta una propuesta que intenta abordar y ofrecer un insumo para el mejoramiento de la actividad en el curso Matemática general MAX084, impartido por la Escuela de Matemática de la Universidad Nacional (UNA) a diferentes carreras y facultades.

Tal propuesta consiste en un plan para apoyar al estudiantado desde un modelo no tradicional de

educación para la UNA. Se emprende la tarea de procurar, desde el modelo de educación a distancia, un apoyo para la acción dentro del aula y fuera de esta, y gestionar una oportunidad para rasgar ciertas barreras normales en la educación presencial como el acceso, tiempo de contacto y otros recursos. En los próximos párrafos se señala el problema específico, una breve descripción de la propuesta pedagógica y los objetivos de este proyecto.

### Situación problemática por atender

La educación en matemáticas es una de las necesidades de todos los profesionales. Sin embargo, no necesariamente ser educado en matemáticas responde a saber únicamente técnicas y algoritmos, saber cálculo, métodos numéricos o álgebra lineal. La matemática universitaria es una poderosa herramienta en cada disciplina y otorga una ventaja para poder crear nuevos conceptos. La matemática universitaria tiene el fin de proporcionar tres grandes elementos para el trabajo y para la vida:

1. Crear una estructura de pensamiento lógico formal
2. Saber resolver problemas
3. Dominar un lenguaje para describir los fenómenos

En esta importante tarea, la estructura universitaria debe ofrecer las mejores circunstancias para asegurarse de que el estudiante adquiera las condiciones básicas para desarrollar una nueva estructura mental. Entre estos contextos primordiales está la imperiosa necesidad de saber si realmente el estudiante podrá afrontar los retos que un curso de matemáticas universitarias representa. Un asunto relevante es que este curso tiene dos aspectos que debe atender: 1) la formación matemática de secundaria (ya sea de alta o baja calidad) y 2) temas básicos no contemplados en el programa de estudio de secundaria.

Esto implica que no solo depende de la formación que se ofrece en el curso sino también de las estrategias con las que el estudiante fue preparado; esto aunado, como se mencionó, a que el curso resume en varias semanas los cinco años de preparación secundaria y anexa otros temas. Junto a esto, varias fuentes señalan que la promoción y aprovechamiento del curso no son lo que se espera. Al respecto, se pueden mencionar:

1. Las notas de aprobación y reprobación del curso (insumo cuantitativo).
2. Los informes finales de los cursos por parte de los coordinadores (insumo cualitativo).
3. La gran cantidad de deserción de los cursos (insumo cuantitativo).

Se puede adelantar que entre los documentos consultados aparecen varias debilidades expresadas por los estudiantes y recogidas por el personal docente coordinador. Entre otras:

1. Falta de estudio.
2. Mala formación en secundaria.
3. Tiempo en que se imparte el curso versus la cantidad del contenido.

Luego de algunos años de ofrecer el curso, se han considerado varias estrategias en la evaluación con el fin fortalecer el apoyo al estudiante:<sup>1</sup> 1) Ampliar la cantidad de instrumentos de evaluación como tareas, proyectos, exámenes cortos, exámenes parciales; 2) ampliar las horas de consulta por el docente a cargo y contratación de profesionales en matemática educativa para programas continuos de consulta, entre otros; pero los resultados no han variado.

En síntesis:

El problema que se desea atender con esta propuesta es la falta de alternativas para el fortalecimiento del quehacer del estudiante, considerando la escasa cantidad de tiempo con que se cuenta en las sesiones presenciales para ofrecer ejemplos relevantes, reforzar conocimientos de secundaria y número de ejercicios que se puede revisar.

## Marco teórico

### Condiciones del estudiantado

Regularmente, el estudiante toma este curso en su primer año universitario. Por la normativa nacional, todos los estudiantes deben haber aprobado secundaria para ingresar a las universidades.

Para graduarse de secundaria, se debe aprobar el examen nacional llamado Pruebas Nacionales de Bachillerato en las principales áreas (incluida matemáticas); su objetivo es verificar la calidad de la educación brindada. El promedio relativo calculado por el 60% de la nota obtenido en el examen sumado a la nota de presentación que representa el 40% determinan la promoción estudiantil.<sup>2</sup> En general, la promoción de estudiantes en este periodo es muy baja, en el cuadro 1 se muestran los promedios de aprobación de 2005 a 2009.

En un estudio realizado en 2003, Barrantes (citado por Cordero y Rojas, 2011) señala que solamente la mitad de los docentes de matemáticas considera que los contenidos desarrollados en bachillerato son apenas suficientes para la formación universitaria.

Debido a lo anterior, se evidencia que la enseñanza en la Educación Media se encuentra dirigida a “ganar el examen”, por lo que se genera poca oportunidad para desarrollar estrategias de aprendizaje que resulten significativas para el estudiante (Barrantes, 2003, citado por Cordero y Rojas, 2011, p. 9).

Otro insumo para conocer la situación de los estudiantes que ingresan a este curso es la prueba de diagnóstico que aplican las universidades públicas. Aunque existen cuantiosos datos numéricos que podrían servir para evidenciar la escasa formación, basta señalar que, en promedio, ni la mitad de los estudiantes logra aprobar un examen de conocimientos previos. Esto ya supone un fracaso inicial de la mitad de los estudiantes en los respectivos cursos de matemáticas.

### Condiciones del curso

El curso Matemática general MAX084 cuenta con 16 semanas lectivas (más una de exámenes finales) y cinco horas semanales. Está diseñado para fortalecer los conocimientos básicos en matemáticas de colegio y así asegurar que el estudiantado disponga de los requisitos para un curso de cálculo (u otros posteriores).

1 Varias debilidades de los programas de secundaria anteriores ya han sido documentadas en Ruiz (2013).

2 Esta nota se define como el promedio de las calificaciones obtenidas en la educación diversificada en Estudios Sociales y Cívica, Español, Inglés o Francés, Matemáticas y Biología, Química o Física. (Cordero y Rojas, 2011).

Cuadro 1. Resultado de la Prueba de Bachillerato de Matemática (formal) sin incluir nota de presentación.

Materia	2005	2006	2007	2008	2009
Matemática	72,77	63,63	66,67	64,64	65,53

Fuente: Cordero y Rojas (2011).

Este se ofrece los dos periodos del año y en promedio consiste de 18 grupos de 40 personas para el primer semestre y 12 grupos de 40 personas para el segundo (en el primer semestre de 2014 se crearon 23 grupos). Las carreras que actualmente lo absorben son: Biología Marina, Biología Tropical, Enseñanza de las Ciencias, Acuicultura, Agronomía, Forestales, Geografía, Cartografía, Diseño, Administración, Relaciones Internacionales y Gestión Ambiental. Se debe señalar que la matrícula no es por carrera sino que todos los estudiantes pueden seleccionar el curso junto a otros de diferentes carreras.

Por otro lado, el código MAX084 aparece en 2007, esencialmente por el cambio de contenidos del curso antecesor, Matemática básica, que se deja de ofrecer ese año (2013). Los docentes son contratados por 10 horas semanales y su quehacer contempla cinco horas de docencia presencial, dos horas de consulta para los estudiantes y las otras tres horas se distribuyen para planeamiento y reuniones.

Los estudiantes cuentan con un laboratorio dedicado a medio tiempo para el uso de las 40 computadoras en la Escuela de Matemáticas. Además, la UNA dispone de al menos 200 computadoras disponibles para estudiantes en distintos centros y laboratorios.

## Metodología

### Objetivo general

A continuación se señalan los objetivos de la propuesta. Con las condiciones mencionadas anteriormente, se define el objetivo general de este trabajo: Transformar el entorno tradicional del curso de Matemática general MAX084 mediante la incorporación de lo virtual en las prácticas de enseñanza, con el uso de la plataforma Moodle.

### Objetivos específicos

- Desarrollar el curso Matemática general MAX084 en un ambiente educativo a distancia en la plataforma institucional Moodle.

- Desarrollar las unidades didácticas del curso Matemática general MAX084 en un ambiente educativo a distancia en la plataforma institucional Moodle.
- Definir una batería de ejercicios para el curso Matemática general MAX084 para implementar en Moodle.

### Planificación operativa

En el escenario ideal, la primera situación es que la cantidad de personas por grupo supera la capacidad para ofrecer una atención personalizada. En las mejores condiciones, independientemente de ser presencial, se deben atender, a lo sumo, 30 estudiantes.

De esta manera, la necesidad de ofrecer mejores oportunidades para las personas podría ser traducida por la creación y apertura de cursos bimodales o completamente a distancia. Ya muchas carreras en la UNA reconocen la necesidad de ofrecer este tipo de modelo bimodal, aunque no exista el soporte legal de la institución. En este escenario, se podría esperar que docentes y estudiantes posean las mejores condiciones iniciales respecto al uso de recursos tecnológicos, donde al menos se conozcan las dinámicas básicas del uso de internet.

Respecto a la cantidad de recursos, se debe indicar que es necesario brindar más espacios a los estudiantes para que tengan acceso a los laboratorios u otro tipo de facilidades similares. Esto no es trivial; la experiencia indica que muchos estudiantes aun en segundo año de sus carreras no tienen o no saben manejar una cuenta de correo.

Por supuesto, hay otra debilidad que no puede escapar de la proyección: el tiempo de estudio. Este fenómeno de pocas horas invertidas en estudio es complicado, pero indiscutiblemente es necesario que el estudiante también asuma parte predominante de la responsabilidad en su educación.

En el escenario posible, se cuenta con una limitante importante, pues la UNA no permite la evaluación

con recursos tecnológicos como correos electrónicos, foros, *chats* y estrategias no presenciales (esto parece un poco contradictorio, pues varias directrices estimulan el uso de la plataforma institucional Moodle). De esta manera, en el escenario posible será difícil llevar a cabo una evaluación conducente directamente a la aprobación del curso; pero el foco del trabajo está orientado al apoyo para el estudiantado. Se podrá ofrecer un espacio para el desarrollo del curso con materiales propiamente diseñados para el trabajo a distancia, una extensa batería de ejercicios para el desarrollo de las nociones elementales sobre algoritmos que son fundamentales en el desarrollo de este curso. Por lo anterior, se espera que en un año la propuesta del curso mencionado esté alojada en el Moodle institucional de la UNA.

Se caracterizará de la siguiente manera: material didáctico propio, mediado pedagógicamente y de acuerdo con lo que posibilita la web 2.0. Se espera que pueda ofrecerse el curso para establecer planes piloto (sobre este mismo curso) y la posibilidad de invertir parte del tiempo de planeación del curso para realizar tareas de seguimiento personalizado. Aunque en un escenario ideal futuro, se espera que tal curso se pueda pilotear con profesores y profesoras, para utilizarlo como recurso en todos los cursos que se imparten en esta cátedra.

Este asunto también enfatiza la necesidad de crear una cultura sobre la actividad de aprendizaje en este tipo de entorno y de la cual se espera, paulatinamente, tener mayores destrezas y competencias en este tipo de aprendizaje (tanto en docentes como en estudiantes). En este sentido, Prieto (2012) resume este tipo de propuesta con "un manejo todavía centrado en la presencialidad con creciente utilización de tecnologías, una entrada fuerte de éstas para la realización de prácticas fuera del aula o bien una propuesta en que el entorno está constituido por lo virtual" (p. 4). Esto supone una evolución de los procesos actuales del quehacer académico en la UNA, de las herramientas disponibles y un cambio cultural en todo el proceso.

Esta propuesta presume partir de un entorno presencial, donde se incluirán actividades alternativas de trabajo en línea como prácticas y tareas para realizar dentro del sistema de trabajo. Se incorporan estas actividades previas al inicio del curso y se planifican antes de su apertura. Como se mencionó en el apartado anterior, posiblemente tener disposición

institucional para el trabajo a distancia o en línea conlleve algún tiempo y experiencias documentadas.

### Propuesta pedagógica

El curso aborda una gran cantidad de contenidos. Esto implica que el compromiso de los estudiantes es mucho mayor que en otros cursos iniciales en la UNA. Junto a esto, se mencionó que el curso presupone algunos conceptos básicos que no necesariamente los estudiantes están adquiriendo en los procesos de primaria y secundaria. Este curso parte del álgebra de secundaria; sin embargo, muchas de las operaciones que admiten los números reales no han sido comprendidas a cabalidad. Basta ver la cantidad de veces que los estudiantes anteponen una suma ante un producto. Esto no es nada extraño, pues se heredan muchos errores aritméticos al trabajo algebraico. Esto admite un abordaje pedagógico distinto al presencial. Junto a reglas y ejemplos iniciales, será necesario un material que guíe al estudiantado y considere las necesidades que en el ambiente presencial no es posible atender.

Muchos de estos conocimientos también pueden ser adquiridos por reforzamiento, pues son las reglas iniciales básicas: sumar, restar, multiplicar y dividir. Así, varias actividades serán relevantes para esta propuesta y su sustento pedagógico: guías didácticas, ejemplos y videos, foros y una muy amplia batería de ejercicios. No se supone la sustitución de la acción que se realiza en el ambiente presencial, pero ciertas conductas son necesarias para que esta propuesta de trabajo sea factible:

1. Invertir en tiempo de estudio por parte del estudiantado.
2. Desarrollar las clases y unidades (los materiales, ejemplos, guías, foros, entre otros).
3. Seguimiento del avance de estudiantes y atención de consultas.

Es claro que el juicio que gira en torno a este tipo de trabajo no solo involucra los factores ya señalados, sino también una concepción de educación. Finalmente, esta propuesta se sostiene sobre una pedagogía conductista con algunas actividades de tipo constructivista. Esto guiará muchas de las rutas que se trabajarán durante el curso, pero también se trabajará sobre un aprendizaje lo mejor contextualizado y significativo para el estudiante.



## Resultados esperados de la propuesta

En el contexto en que se han señalado las acciones, es importante suscribir este trabajo en un entorno de aprendizaje e-learning, concebido como herramienta de gestión del conocimiento que, según Prieto y Van de Pol (2006), funciona principalmente como un lugar o sitio donde se tiene la información en conjunto y desde ahí se puede tener acceso a otros lugares, sitios y recursos.

Se espera con esto que se logre capacitar a 40 estudiantes en la etapa piloto con un profesor y, posteriormente, a los grupos en total. Inicialmente se investigará con un profesor a cargo de la coordinación y ejecución del curso y, luego, se extenderá a cinco docentes de matemática.

En términos generales se espera disponer de:

1. Cinco profesores capacitados para ofrecer este curso.
2. Una prueba piloto, desarrollada, probada y en marcha.

3. Una metodología de enseñanza y aprendizaje de e-Learning como herramienta de gestión de conocimiento.

4. Tres unidades de trabajo en línea.

## Mapa de prácticas de aprendizaje

En este tipo de propuesta se hace necesario conocer cuáles actividades se desarrollarán para prever, entre otras cosas, los recursos tecnológicos disponibles. A continuación se detallan las actividades que se proponen en el curso:

Es preciso recordar que el tutor o tutora será la persona docente a cargo del curso, por lo que esta matriz no podrá ser tan amplia como se deseaba en última instancia. El objetivo es que al definir actividades claras se pueda planificar y crear los materiales para trabajar en estas.

## Tecnologías apropiadas

Para la ejecución de esta propuesta se debe contar, respecto a hardware, con una computadora con

Semana	Actividad*	Descripción*
1	Bitácora electrónica	Durante el curso se le pide al estudiantado que, al menos una vez por semana, autoevalúe su proceso de aprendizaje en un blog (por ejemplo, qué aprendieron esa semana, qué les resultó de especial relevancia, etc.). A través de todo el curso.
2	Lectura	Como ejercicio o tarea, se le da al estudiantado una lista de enlaces a artículos sobre temas determinados, entre los cuales pueden escoger uno.
	Foro de debate	Después de tratar un tema controvertido, el docente abre un nuevo hilo en el foro de discusión. Se le pide al estudiantado que describa su reacción inicial al tema. El docente dirige la discusión con cuidado.
	Lectura	Como ejercicio o tarea se le da al estudiantado una lista de enlaces a artículos sobre temas determinados, entre los cuales pueden escoger uno.
5	Ensayo	Cada estudiante escribe un ensayo y lo sube a la página del curso.
	Examen corto	Al final del módulo se le pide al estudiantado que responda a una serie de preguntas multiple-choice (preguntas de opción múltiple o examen tipo test). El resultado será inmediatamente visible para el estudiantado.
12	Examen corto	Ídem
15	Presentación	Cada estudiante, de manera individual, compila su tema de investigación, su investigación o exploración y la sube a la web del curso. Les pide a sus compañeros y compañeras que hagan una devolución de los descubrimientos y la presentación.
16	Presentación	Cada estudiante, de manera individual, compila su tema de investigación, su investigación o exploración y la sube a la web del curso. Les pide a sus compañeros y compañeras que hagan una devolución de los descubrimientos y la presentación.

\* Extraído de Van de Pol, P. (2012). Una tipología de las prácticas de e-Learning.

acceso a internet, disponible a tiempo completo, para el personal docente a cargo y con el acceso a los laboratorios para el estudiantado. En cuanto al uso de software, se requerirá crear un curso en Moodle en concordancia con la propuesta y asignar el perfil de gestor. Es importante indicar que los laboratorios, en su mayoría, tienen computadoras para ejecutar *applets* y *rutinas java* que serán necesarias en el proceso. Además, será preciso el proceso de matrícula de los estudiantes.

### Materiales didácticos, tutorías y sistema

Se desarrollarán tres unidades de trabajo para el tratamiento de los temas propuestos en la sección *Mapa de prácticas*. Estas unidades deberán estar desarrolladas antes de la ejecución del curso. En el caso de las tutorías, se desarrollarán por parte del docente a cargo y se atenderá por medio de foros y correo interno. Se debe coordinar la presentación de reporte de horas tanto presenciales como en la plataforma institucional, según la cantidad de atención al estudiantado. En este sentido, se pretende destinar una hora semanal distribuida por la carga académica en la cual se tomarán las responsabilidades de tutoría en el espacio virtual. Se procura que cada docente que asuma la estrategia de trabajo complete un proceso de capacitación para que las actividades sean pertinentes.

En el caso de la administración de la plataforma, existen dos personas asignadas a la plataforma institucional, que manejan los perfiles de administradores y otorgan la capacidad para gestionar los cursos. Además, el equipo del Programa UNA-Virtual se encarga del mantenimiento y actualización de toda la plataforma.

### Indicadores de evaluación

En este apartado se abordan las principales nociones sobre la coherencia del proyecto, su seguimiento y evaluación. El propósito es preservar la coherencia entre los objetivos, las metas planteada y las acciones que evidenciarán los avances y alcances. Como se indicó en el apartado anterior, este plan proyecta su operación en el modelo pedagógico general, en las prácticas de aprendizaje y tecnologías, en el material didáctico, en la tutoría y en la administración.

### Indicadores

Respecto a las evidencias sobre el desarrollo de la propuesta, a continuación se detallan los indicadores que serán considerados. Se utiliza la estrategia desarrollada por Becerra y otros (2004).

#### Modelo pedagógico general

- I. Es deseable que exista acompañamiento del departamento de diseño curricular de la UNA para valorar las acciones en el currículo actual.
- II. Es indispensable que exista apoyo de la Dirección de la Escuela de Matemáticas para el desarrollo de una estrategia curricular distinta.
- III. Es deseable que exista compromiso del estudiantado, personal docente y administrativo de la plataforma y del área administrativa de la Escuela de Matemática.

#### Prácticas de aprendizaje y tecnologías

- I. Es deseable la participación estudiantil en las prácticas sugeridas.
- II. Es indispensable que se cuente con una computadora con acceso a internet para el diseño y ejecución del curso.

#### Material didáctico

- I. Es necesario que se desarrollen los materiales educativos en correspondencia con las nuevas acciones planteadas en esta propuesta.
- II. Es deseable que los docentes identifiquen y desarrollen propuestas para la actualización y gestión de los materiales.

#### Tutoría

- I. Es deseable crear espacios en las sesiones presenciales de tutoría para ofrecer seguimiento de los ejercicios y prácticas. Esto, considerando que el proceso será evolutivo e inicialmente el estudiantado necesitará aclarar algunas dudas.
- II. Es necesario contar con un estudiante asistente que colabore con la digitación de ejercicios.

#### Administración

- I. Es deseable contar con espacios específicos en el laboratorio de la Escuela de Matemática de la UNA para garantizar un lugar donde el estudiantado pueda realizar sus actividades.

II. Es indispensable la comunicación con el Departamento del Programa UNA Virtual que administra la plataforma educativa.

### Algunas consideraciones

Como ha sido desarrollado a través de este documento, la planificación de ambientes de aula que favorezcan la incorporación de recursos tecnológicos no aparecerá espontáneamente con la implementación del recurso hardware. Más allá de esto, las rutas para este tipo de ambientes requieren una reorganización del currículo del curso y de los otros materiales disponibles.

Es fácil encontrar muchas experiencias que se reducen a la implementación de una o dos sesiones en donde se utiliza Geogebra® u otros recursos para introducir un tema o guiar una exposición donde se reduce todo el entorno, comúnmente tradicional, a un espacio de algunos minutos para este fin.

La bibliografía internacional ya muestra que la investigación en educación matemática y TIC ha

avanzado lo suficiente para sobrepasar estas pseudoactividades y proponer un entorno distinto de aprendizaje (incluso entornos bimodales o completamente virtuales). Los aportes de estas actividades posiblemente cautiven al profesorado novato en la incorporación de tecnologías, tal como ocurrió hace varios años con las diapositivas y el *videobeam*.

Esta propuesta supone un cambio paulatino hacia la creación de recursos de forma inteligente: abarca no solo espacios de incorporación sino que establece los elementos primordiales para que el impacto del uso de los recursos en el aula de matemática sea provechoso. Morales y Poveda (2013, p. 7) indican que:

Es evidente que la suma de pequeños esfuerzos no es suficiente para entablar y encarar una problemática que posee múltiples aristas (económicas, sociales, tecnológicas, entre otras). Usar un software, un retroproyector, acceso a Internet y el email, de forma desligada, ofrecen muy pocos elementos claros para desafiar las rutas tradicionales de aprendizaje (p. 7).

Instrumentos de seguimiento que se utilizarán en la etapa de pilotaje y ejecución

Fase	Instrumento	Relación con el mapa de prácticas de aprendizaje
Fase de pilotaje	Encuesta (cerrada) sobre percepción inicial del curso.	Es la primera actividad para reconocer algunas de las condiciones particulares.
	Entrevista (semidirigida) sobre percepción de la ejecución del curso.	Esto concuerda con la entrega de la revisión de las actividades lectura y ensayo de la semana 5 en el mapa de prácticas de aprendizaje.
	Bitácora	Concuerda con el cierre del curso.
	Encuesta (cerrada) sobre percepción final del curso.	Concuerda con el cierre del curso.
Fase de ejecución	Encuesta (cerrada) sobre percepción inicial del curso.	Es la primera actividad para reconocer algunas de las condiciones particulares.
	Encuesta (cerrada) sobre percepción inicial del curso.	Es la primera actividad para reconocer algunas de las condiciones particulares.
	Entrevista (semidirigida) sobre percepción de la ejecución del curso.	Esto concuerda con la entrega de la revisión de las actividades lectura y ensayo de la semana 5 en el mapa de prácticas de aprendizaje.
	Encuesta (cerrada) sobre percepción final del curso.	Concuerda con el cierre del curso.
	Encuesta (cerrada) sobre percepción final del curso.	Concuerda con el cierre del curso.

Una reestructuración del modelo pedagógico general, las prácticas de aprendizaje y tecnologías, el material didáctico, las tutorías y la administración de los recursos es apenas el inicio en el camino por comprender el verdadero papel de los recursos tecnológicos en el quehacer del educador y la educadora en matemáticas.

En el caso de la UNA, específicamente la Escuela de Matemática, tendrá que redireccionar ciertos elementos en su oferta de servicio. Se está viviendo un cambio transcendental en la formación preuniversitaria con los programas de matemáticas aprobados en 2012 y que se comenzaron a implementar en 2013.

Aunque es pronto para que las universidades vean los resultados de estos programas educativos, tienen la tarea ineludible de atender a los futuros profesionales formados con los antiguos programas y trascender su actividad actual para crear una estructura para los cursos de otras universidades que estén a la altura de los programas actuales.

Si no se impone desde ya la necesidad de reformular la actividad del estudiantado universitario en los cursos de matemáticas iniciales, es posible que en pocos años las universidades enfrenten una importante desconexión entre la formación preuniversitaria y la impartida en la universidad.

Propuestas como la aquí consignada buscan crear un nuevo marco de formación de profesionales en áreas medulares de la sociedad costarricense. Para esto, se deberán aprovechar los recursos tecnológicos y todas las herramientas disponibles, con el fin de aportar espacios de construcción de conocimiento donde se tengan recursos alternos a la presencialidad impuesta por la vida universitaria tradicional, especialmente en la UNA.

Esta propuesta específica involucra al personal docente, estudiantado, equipo, infraestructura, atención técnica, edición de materiales impresos y digitales, actividades y prácticas, entre otros. Pero más allá, busca crear sinergia entre actores y recursos para afrontar los retos que el nuevo contexto educativo costarricense impone.

## Bibliografía

- Becerra, M. et al. (2004). *Informe Final. Comisión Asesora de Educación a Distancia. Ministerio De Educación, Ciencia y Tecnología*. Documento en línea. Obtenido desde: <http://www.coneau.gov.ar/archivos/477.pdf>.
- Cordero, M. & Rojas, M. (2011). El conocimiento matemático previo del estudiante y su relación con el desempeño académico en el curso MAX084 Matemática general de la Universidad Nacional. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional.
- De Guzmán, M. (2007). *Tendencias innovadoras en educación matemática*. Obtenido desde: <http://www.mat.ucm.es/catedramdeguzman/drupal/migueldeguzman/legado/educacion/tendenciasInnovadoras>.
- Morales, Y. & Poveda, R. (2013). Plataforma educativa nacional para la formación continua de docentes de matemáticas en Costa Rica. En: Rodríguez, E. *Actas del VII Congreso Iberoamericano de Educación Matemática CIBEM 7, 7030-7037*. Montevideo. Obtenido desde: <http://www.cibem.org/7/actas/pdfs/53.pdf>.
- Prieto, D. (2012). *Fase de planificación operativa. Planificación, seguimiento y evaluación de proyectos*. Instituto de Formación Docente de Virtual Educa.
- Prieto, D. & Van de Pol, P. (2006). *E-Learning, comunicación y educación. El diálogo continúa en el ciberespacio*. Bogotá.
- Ruiz, A. (2013). La reforma de la educación matemática en Costa Rica. Perspectiva de la praxis. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática 8 (especial)*. Obtenido desde: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cifem/article/download/11125/10602>.
- Van de Pol, P. (2012). *Una tipología de las prácticas de e-Learning*. Instituto de Formación Docente de Virtual Educa.

# Validación del constructo, contenido y confiabilidad de indicadores de proceso para la evaluación de la dimensión curricular en la educación superior: el caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Validation of construct, content and reliability of process-type indicators used for the assessment of curricular process dimension at higher education: the case of Costa Rica Institute of Technology

*Rosa Inés Lira-Valdivia<sup>1</sup>*

*Fecha de recepción: 31 de julio del 2013  
Fecha de aprobación: 30 de noviembre del 2013*

Lira-Valdivia, R. Validación del constructo, contenido y confiabilidad de indicadores de proceso para la evaluación de la dimensión curricular en la educación superior: el caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág. 117-136

<sup>1</sup> Doctora en Intervención educativa por la Universidad de Valencia, España. Máster en Planificación Curricular por la Universidad de Costa Rica. Licenciada en Administración Educativa con énfasis en currículo por la Universidad de Costa Rica. Asesora Académica. Centro de Desarrollo Académico (CEDA), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: rlira@itcr.ac.cr

## Palabras clave

Indicadores de proceso; indicadores de calidad; proceso curricular; diseño curricular; análisis de contenido; evaluación curricular; evaluación institucional.

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de la validación efectuada a un conjunto de indicadores con el propósito de utilizarlos en la evaluación de la dimensión Proceso Curricular en una instancia de educación superior; en este caso el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se muestran los resultados relativos a los tres tipos de validez: de constructo, contenido y confiabilidad, incluyendo las correspondientes conclusiones del estudio. El trabajo se enmarca en una investigación evaluativa de enfoque cuantitativo de corte doctoral con la Universidad de Valencia y el Instituto Tecnológico de Costa Rica, utilizando como metodología el juicio de expertos.

Se concluye que los resultados de validez alcanzados ofrecen evidencia suficiente para respaldar los indicadores como ítems de calidad, ampliamente confiables para proporcionar información válida en la evaluación de la dimensión Proceso Curricular. Asimismo, se estima que estos indicadores proveerán información pertinente y serán un insumo importante para la toma de decisiones sobre políticas curriculares y evaluativas en la educación superior.

## Key words

Curricular process; curricular assessment; process-type indicators; curriculum design; content analysis; institutional evaluation; assessment items for academic development; higher education.

## Abstract

This paper is a part of a dissertation carried out as a doctoral study with the University of Valencia, to design Process-type-items for the assessment of Curriculum Process Dimension in Higher Education. Methodologically these indicators have been validated by a research evaluation based on expert judgment using a quantitative approach. This series of indicators has been built for Costa Rica Institute of Technology. The outcomes of three types of validity: construct, content and reliability are shown in this article. It is considered that the results achieved, provide sufficient evidence to support the proposed Process-type Indicators, as widely trusted and as quality items to provide valid and reliable information in assessing Curriculum Process Dimension. These indicators will also provide relevant data for making educational policy decisions in the area of curriculum development.

---

## Introducción

Una de las formas de conocer la eficiencia y la calidad de un sistema educativo es a través de los datos cuantitativos que brindan los indicadores. Por la información que proveen y para las audiencias evaluativas, los indicadores constituyen un mecanismo fundamental en procesos de valoración y son además los insumos adecuados para determinar la calidad educativa de los escenarios formativos universitarios. En el ámbito curricular, la preocupación de las universidades por ser garantes de la calidad de sus ofertas educativas ha hecho que la evaluación del área curricular se convierta en uno de los

elementos importantes de una reforma educativa. Esto implica que las universidades deben tener la posibilidad y la capacidad de contar con instrumentos confiables para llevar a cabo la valoración de la dimensión curricular.

Es en este marco que se ubica este artículo, cuyo objetivo principal es proponer una serie de indicadores para la evaluación de la dimensión denominada en este estudio Proceso Curricular y, al mismo tiempo, mostrar los resultados obtenidos en la validación a la que se sometieron dichos indicadores. No obstante, es importante ubicar este escrito en el marco general de la investigación doctoral que le

da origen. Es decir, la dimensión que aquí se muestra es una de las cinco que se han conformado para constituir el área de Formación Universitaria, como parte de un planteamiento global que tiene como finalidad formular una propuesta de evaluación institucional para el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). En el diseño madre, Formación Universitaria está constituida por las siguientes dimensiones: Proceso Curricular, Proceso de Enseñanza, Proceso Aprendizaje, Proceso Evaluación de Aprendizajes y Proceso Investigación. Formación Universitaria, a su vez, es una de las cinco áreas utilizadas y para las cuales se crearon indicadores de proceso y de producto y así poder fundamentar el planteamiento de evaluación institucional de la propuesta mencionada.

Por su extensión, en este artículo se presentan solamente los resultados obtenidos en relación con el juzgamiento de los indicadores de proceso en torno a la validez de constructo, contenido y confiabilidad de los reactivos que componen la dimensión Proceso Curricular. La validación respectiva se ha hecho mediante juicio de expertos con jueces nacionales e internacionales. La pertinencia de este artículo apunta no solo a la necesidad de proponer ítems que sean referentes claros, válidos y confiables sino también que permitan, mediante su aplicación, recabar y obtener información sobre el estado de uno de los procesos formativos, en este caso, del proceso curricular. Asimismo, estos indicadores recopilarán evidencia suficiente para la toma de decisiones sobre políticas evaluativas curriculares en torno al desarrollo curricular del área de Formación Universitaria.

## Objetivos

- a) Construir un conjunto de indicadores de proceso que sean válidos y confiables para evaluar la dimensión Proceso Curricular como componente del área de Formación Universitaria.
- b) Validar el conjunto de indicadores tipo proceso mediante los respectivos análisis de validez de contenido, validez de constructo y de confiabilidad.

## Marco teórico conceptual

La historia del currículo marca un trayecto complejo y diverso que, según Penalva (2007, citado por Lira, 2010, p. 8) *"no proviene de una disciplina académica, ni de una línea de investigación única y monolítica, sino, más bien, de una corriente educativa muy diversa"*. Lo

anterior significa que históricamente el currículo ha influido y se ha dejado influir por una gran variedad de teorías y tendencias pedagógicas y culturales. Cada una de ellas representa fehacientemente tratados de pensamiento curricular, planteamientos y fundamentaciones teóricas, aproximaciones teórico-contextuales, sociales e históricas acerca del currículo, cuya trascendencia continúa impactando los procesos de enseñanza y aprendizaje de los sistemas educativos y universitarios en general.

Autores como Follari y Berruezo (1981), Díaz Barriga (1984), De la Torre (1999), Carr y Kemmis (1988), De Alba (1994) o Coll (1988) han señalado la urgente necesidad de una transformación en la conformación de los currícula. Han evidenciado el gran vacío de espacios para el análisis y actualización de temas curriculares atinentes al diseño de las carreras en las universidades. En tales circunstancias, el marco teórico conceptual de referencia curricular que sustenta el enfoque teórico de este artículo se ubica en la perspectiva de autores como Grundy (1987), Posner (2000), Stenhouse (1991) y Flores Ochoa (2000), de quienes se han analizado sus axiomas para conceptualizar los principales componentes que conforman la dimensión Proceso Curricular en el marco de esta investigación.

Con base en lo anterior, se entiende por dimensión Proceso Curricular la siguiente conceptualización: *"Es una construcción cultural que busca la concreción específica de una teoría pedagógica para volverla efectiva y asegurar el aprendizaje y el desarrollo de un grupo particular de alumnos según la cultura, época y comunidad de las cuales forma parte"* (Lira, 2013, p. 176). Para los efectos específicos de este estudio, dicha dimensión se operacionaliza en dos grandes categorías: Diseño curricular<sup>1</sup> y Carrera<sup>2</sup>.

1 Diseño curricular: En este artículo se entiende diseño curricular de la siguiente manera: "Es el componente vital del proceso curricular; que consiste en un transcurso integrado de construcción social, el cual identifica el conjunto de saberes que mejor actúa en la complejidad del diseño, con el fin de asegurar los conocimientos, habilidades y facultades que conformarán el plan de formación de los futuros profesionales de una carrera universitaria. Así, el diseño curricular es el encargado de operativizar el proceso enseñanza y aprendizaje en el plan de formación integral, de tal manera que ese diseño curricular sea una oferta académica auténtica, valiosa, no solo para los efectos de formación profesional universitaria, sino también útil y funcional para afrontar y resolver situaciones nuevas propias de la profesión" (Lira, 2010, pp. 28-29).

2 El vocablo Carrera como categoría operativa en el marco de este artículo está conformado por los siguientes componentes que son

De igual manera, ambas subdimensiones han sido operacionalmente precisadas mediante componentes y estos, a su vez, se operativizan en indicadores de tipo proceso. Dichos elementos son, en el caso de la categoría Diseño curricular, los siguientes: Principios curriculares, Perfil, Estructura curricular y Elementos normativos institucionales. Con relación a la segunda subdimensión, los componentes que la constituyen son: Autorregulación, Tutorías estudiantiles, Infraestructura, Seguimiento e Idoneidad.

Es importante mencionar que para lograr un acercamiento a la realidad empírica de estos componentes, se aplica lo indicado por Lazarfeld (1985, citado por Rodríguez J., 2000, p. 151) en relación con lo importante que resulta la *“elaboración de indicadores para la cuantificación de las dimensiones descritas”*. Es así como, desde la perspectiva instrumental evaluativa, se construyeron indicadores de tipo proceso para valorar los respectivos componentes, los cuales se conceptualizan para los efectos de la investigación de la siguiente manera: *“los indicadores de proceso son los motores impulsores, los medios y las acciones específicas que pretenden generar los productos esperados y lograr los fines y resultados propuestos”* (Lira, 2013, p. 122). Asimismo, para el logro de los objetivos y la respectiva validación de los indicadores de proceso, se utilizaron los siguientes dos criterios: relevancia y susceptibilidad de mejora, cada uno de los cuales tiene su respectiva conceptualización, por ejemplo, *relevancia* es definido así: *“El indicador es relevante cuanto mejor represente al objeto o subdimensión con la cual se relaciona”* (Lira, 2013, p. 144). En relación con el criterio de *susceptibilidad de mejora*, dicha conceptualización se refiere a *“La posibilidad de mejoramiento para una condición predeterminada que expresa el indicador, siempre y cuando esa posibilidad de mejora esté sustentada en datos o procesos viables, a partir de los cuales se pueda variar la condición de ese objeto determinado y pueda ser ejecutado con los recursos propios que posea la institución (humanos, físicos, económicos) para realizar dicha mejora”* (Lira, 2013, p. 144).

Aunado a lo anterior, el marco empírico evaluativo sobre el cual se fundamenta este artículo hace men-

ción de los conceptos utilizados a fin de operativizar las respectivas validaciones a la que se sometieron los susodichos indicadores. Es así como la validez de contenido se define a la luz de dos autores: Krippendorff (1997, p. 81), quien la define como el *“conjunto de métodos y técnicas de investigación destinados a facilitar la descripción e interpretación sistemática de los componentes semánticos y formales de todo tipo de escritura o mensaje y la formulación de inferencias válidas acerca de los datos reunidos”*. De igual manera, Hernández, Fernández y Baptista (2003, p. 347) la entienden así: *“es el grado en el que la medición representa al concepto medido”*. Por su parte, la definición de validez de constructo que ampara esta investigación se basa en autores como Greeno (1980), Snow (1980), Seller (1988) y Leyva (2001, citados por Lira, 2013, p. 150), quienes señalan varios pasos para establecer la validez de constructo, entre los cuales están: *“Elegir o construir una teoría para la definición de conceptos y la determinación a priori de las relaciones entre ellos. Seleccionar indicadores que representen cada uno de los conceptos contenidos en la teoría. La constatación de estos dos pasos requiere de análisis lógicos a través de jueces expertos”*. Para McMillan & Schumacher (2005, p. 633), este concepto *“es el tipo de validez externa que se refiere al grado en que el estudio representa el constructo fundamental”*. En relación con la fiabilidad, esta se entiende como *“el grado en que son consistentes las medidas de un test”* (McMillan & Schumacher, 2005, p. 622). La aplicación de estos conceptos se explica en el apartado de análisis realizados. Los anteriores conceptos constituyen los principales referenciales teóricos curriculares y los empíricos evaluativos sobre los cuales se desarrolla el presente artículo.

## Metodología

Con respecto al tipo de indagación efectuada, la presente es una investigación evaluativa basada en el juicio de expertos y utiliza un enfoque cuantitativo. En función del análisis y las técnicas utilizadas para la recopilación de la información, se clasifica como una investigación descriptiva y exploratoria. Es de tipo descriptivo porque pretende caracterizar y extraer conclusiones sobre *“dimensiones y componentes del fenómeno a investigar”* (Hernández, Fernández y Baptista, 2003, p. 117); en este caso en particular se busca extraer conclusiones sobre la dimensión

---

indispensables para promover el desarrollo intelectual y formal de los estudiantes durante su proceso de formación universitaria: autorregulación, tutorías estudiantiles, infraestructura, seguimiento de estudiantes y profesores e idoneidad docente (Lira, 2013, p. 213).



denominada Proceso curricular. Es exploratoria, ya que pretende indagar acerca de las características de las distribuciones de las variables y busca “*identificar relaciones entre variables*” (Hernández et ál., 2003, p. 117); en nuestro caso, indaga en el comportamiento de las variables de proceso involucradas a la luz del criterio de expertos distinguiendo, mediante ello, los indicadores promisorios de los que no lo son, en función de la dimensión y de los procesos que representan; además “*evalúa una práctica específica en un lugar determinado*” (McMillan & Schumacher, 2005, p. 116).

### Muestra

Se trabaja con el concepto de “grupo poblacional” entendido como el “*subconjunto de sujetos que tienen las características de la población, pero que no son representativos en cuanto al número para poder establecer generalizaciones*” (Jornet y Suárez, 2008b, p. 9). El objetivo de trabajar con grupos finitos de la población, según lo indican estos mismos autores, es “*poder estudiar la viabilidad de posibles hipótesis o analizar la adecuación de instrumentos de medida durante su elaboración*” (Jornet y Suárez, 2008b, p. 5).

En este caso específico, se está estudiando la viabilidad de los componentes y se analiza cuán adecuados son los diferentes indicadores que conforman la dimensión Proceso curricular. De igual manera, interesa hacer inferencias sobre los ítems construidos, una vez sometidos a procesos de análisis estadísticos, para determinar cuáles de ellos son *más susceptibles de generar mejora* en los procesos y en las dimensiones que hemos identificado como tales y cuál es la *relevancia* que ostentan en esos procesos. Por tanto, la muestra con la que se trabaja no es probabilística o aleatoria sino más bien intencional y corresponde a lo que Elorza (2000, citado por Torres, 2003, p. 57) determina como tipo de “*muestreo por conveniencia pues se procede a ponerse en contacto con unidades de muestreo apropiadas*”. Sirva además lo indicado por Hernández, Fernández y Batista (2003, p. 327) para reforzar lo anteriormente manifestado: “*la ventaja de una muestra no probabilística es su utilidad para determinado diseño de estudio que requiere no tanto una ‘representatividad’ de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de sujetos con ciertas características*”. De ahí se deriva la utilidad y la necesidad de trabajar en esta investigación con un grupo de expertos que, dadas

sus cualidades, experiencias y vivencias en el campo de la evaluación, interesa más la profundidad y la calidad de la información aportada más que la cantidad o la estandarización.

### Sujetos

En virtud de lo anterior, se trabajó con dos grupos de expertos: uno a lo interno del ITCR y el otro a lo externo con expertos de los ámbitos nacional e internacional, utilizando como criterios de selección los siguientes: a. Comité interno: académicos universitarios del ITCR con experiencia en la dirección o ejecución de procesos de autoevaluación, académicos con experiencia y participación en procesos de certificación externa de programas o carreras universitarias; b. Comité externo: académicos universitarios con experiencia en evaluación de programas y carreras universitarias; académicos que trabajen en o para organismos o instancias relacionadas con procesos de evaluación institucional, certificación de calidad externa o procesos de acreditación nacional e internacional de universidades. El grupo poblacional inicial fue de 37 expertos y el final fue de 28 especialistas. Estos académicos provienen de universidades nacionales costarricenses y de universidades españolas, colombianas, panameñas, venezolanas y chilenas (ver figura 1).

### Análisis realizados

Para el tratamiento y análisis de los datos se utiliza el paquete estadístico SPSS versión 18, para el procesamiento de datos el programa Microsoft Excel para Windows 7. Como se mencionó anteriormente, este artículo forma parte de un trabajo más amplio de investigación en la cual se realizaron análisis pertenecientes a la estadística descriptiva y a la inferencial. Así por ejemplo, para establecer la calidad técnica del instrumento y de los ítems construidos, se realizaron los siguientes análisis: nivel de dificultad de la prueba, poder de discriminación, intensidad del coeficiente de homogeneidad de la prueba alfa de Cronbach y alfa total, coeficiente de validez de los ítems, análisis de matriz varianza/covarianza, matriz de interrelaciones, nivel de dificultad de los ítems e intensidad de la correlación. Asimismo, se efectuaron análisis descriptivos y de tendencia central, de congruencia entre jueces, de homogeneidad, de comprobación de supuestos, correlacionales y prueba *t* para muestras independientes, estas últi-

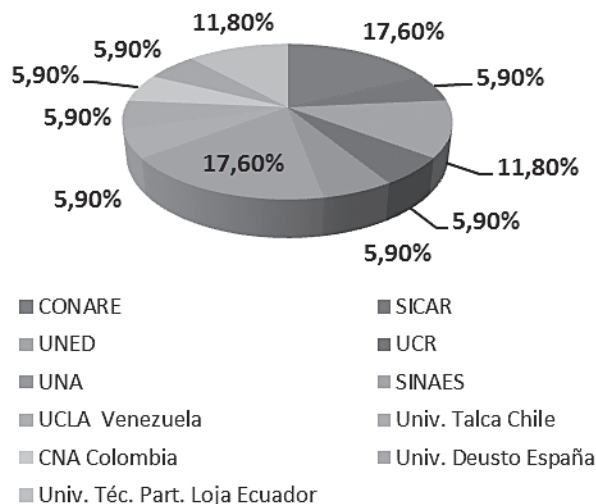


Figura 1. Porcentaje de evaluadores del comité externo de validación agrupados según la institución a la que pertenecen.

mas pertenecientes a la estadística inferencial. Para los efectos particulares de este artículo, se detallan los análisis que se realizaron en torno a la validez de contenido, constructo y confiabilidad.

En relación con el análisis de fiabilidad de cada uno de los indicadores de proceso de la dimensión Curricular, se obtuvo el Alfa de Cronbach y se efectuó el análisis de consistencia interna mediante la obtención del estadístico correlación elemento total corregido. El análisis coeficiente de homogeneidad o correlación ítem-test se utilizó como medida de correlación entre la puntuación de cada indicador con la suma de las puntuaciones de los otros ítems de la escala. Este índice permitió conocer la contribución de cada indicador a la fiabilidad total de cada componente.

Para determinar la validez de constructo se aplica el análisis de conglomerados jerárquicos y el análisis de factores. El primero se utilizó con el fin de establecer grupos o tipologías semánticas entre los indicadores creados, a fin de descubrir agrupaciones naturales entre ellos lo más homogéneas a lo interno de éstas. Este hecho permitió hacer las inferencias del caso y relacionar los respectivos contenidos teóricos de los ítems con la dimensión y el constructo que están representando. El segundo, es decir, el análisis de factores, se utilizó para determinar la validez de constructo aplicando para ello el análisis de Componentes Principales (ACP) con rotación

oblicua, matriz de correlaciones, índice de KMO y la prueba de Esfericidad de Bartlett.

En la determinación de la validez de contenido de los indicadores de proceso se aplican los siguientes análisis: el cociente de variación, media aritmética, rangos promedio y el análisis perfil de importancia de los indicadores respecto al contenido. Aplicando el significado de la validez de contenido y mediante estos análisis, se busca facilitar la elucidación sistemática de indicadores de proceso y conducir la interpretación de los jueces, mediante la determinación lo más exacta posible de las características y significados que estos ítems representan. Así, el estudio de las valoraciones individuales que dieron los expertos sobre cada uno de los indicadores y su sistematización se realizó utilizando para ello –como se mencionó anteriormente- el cociente de variación. Asimismo, se recurrió al análisis de media aritmética, el cual, por sí solo, es un indicador de la validez de contenido (Jornet y Suárez, 2008b, s.p). De esta manera, mediante la media y los rangos promedio se aplicó el estudio de Perfil de importancia de los indicadores respecto al contenido, posibilitando con ello la clasificación y determinación de categorías conceptuales en relación con el contenido de los reactivos evaluados como los “más relevantes y más susceptibles de mejora”, “menos relevantes y menos susceptibles de mejora” y además aquellos que “no presentaron polaridades en sus respectivas evaluaciones” (ver cuadro 5).

## Resultados

### Indicadores de proceso

En relación con la creación de los indicadores tipo proceso que conforman la dimensión Proceso curricular, estos se presentan en el cuadro 1. Sin embargo, es importante ubicar este grupo de indicadores en el marco general de la investigación madre, en la cual solamente para el caso de la evaluación del área Formación Universitaria se construyeron 302 indicadores de proceso y se sometieron a la respectiva depuración; el figura 2 muestra el resumen de dicho análisis realizado al área de Formación Universitaria. El cuadro 1 muestra específicamente los ítems que atañen a la dimensión Proceso curricular, una vez realizada la depuración técnica del instrumento. En esa línea y en forma breve, algunos resultados obtenidos en relación con la calidad técnica de los indicadores construidos son los siguientes: la dificultad de los ítems corresponde a un nivel medio de dificultad o sea ( $P_i > 0,25$  y  $\leq 0,75$ ); el poder de discriminación de los indicadores se manifiesta en discriminación Máxima, incluyendo ítems modales o sea con puntuación ( $\sigma^2 = 0,25$ ); también se registró poder de discriminación Crítica, es decir, indicadores con puntajes ( $\sigma^2 = 0,1-0,2$ ). Con respecto al nivel de dificultad del instrumento utilizado, los resultados arrojan un dato de  $CV = 9,4\%$ , lo cual significa que dicho nivel es homogéneo.

Con respecto a los resultados logrados, los índices de fiabilidad obtenidos son altos en todos los componentes y las dos subdimensiones que forman la dimensión Proceso curricular. Los indicadores de proceso evaluados desde los criterios de *relevancia* y de la *susceptibilidad de mejora* y mediante la valoración tanto de los jueces del Comité interno como de los expertos del Comité externo son resultados satisfactorios, significando que aportan positivamente a la fiabilidad de los componentes que representan dichos indicadores y al constructo en general. Estos se presentan en la cuadro 2.

### Resultados de análisis de conglomerados jerárquicos

En relación con estos resultados, el gráfico Dendrograma de Ward fue de gran utilidad para realizar dicho análisis. Se utilizó el método Ward con una medida de intervalo distancia euclídea al cuadrado conglomerando los indicadores por variables, en vez de por casos. Con este estudio se demuestra que la cercanía natural de los indicadores está conforme con las tipologías semánticas obtenidas en el análisis de contenidos que respaldan el significado de los constructos estudiados, corroborando de esta manera la validez de constructo de los indicadores tanto para el criterio de *relevancia* como para el de *susceptibilidad de mejora* en ambas áreas indicadas. Se presenta únicamente el Dendrograma que contiene los resultados referentes al primer

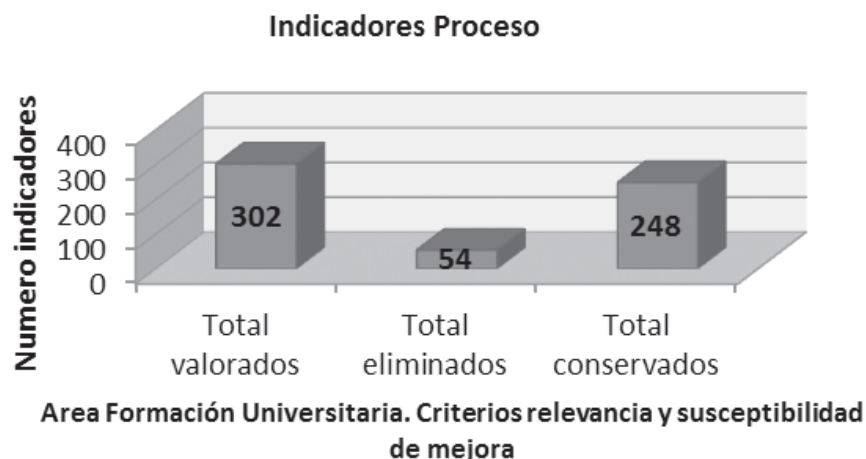


Figura 2. Resumen depuración de los indicadores de proceso del área de Formación Universitaria. Criterios relevancia y susceptibilidad de mejora.

Cuadro 1. Indicadores de proceso: Área Formación Universitaria. Dimensión Proceso Curricular:

		Componentes	Indicador Relevancia	Contenido abreviado de indicadores	Indicador SM
		Dimensión Proceso Curricular	Subdimensión Diseño Curricular	Principios curriculares	v11pc1r
v29pc22r	Coherencia entre contenido, metodología y evaluación.				V147pc22s
v12pc2r	Coherencia entre misión, visión, objetivos institucionales e intenciones formativas del PE.				V130pc2s
v31pc24r	Coherencia entre creditaje y título a otorgar.				V149pc24s
v20pc10r	Presencia de principios pedagógicos en el plan de estudios.				V138pc10s
v21pc11r	Existencia de principios curriculares en el diseño curricular y plan formativo.				V139pc11s
v32pc25r	Presencia de interdisciplinarietà en el plan de estudios.				V150pc25s
v40pc35r	Congruencia entre escuela, carrera e institución.				V158pc35s
v30pc23r	Correspondencia entre contenido, elementos que conforman el PE y perfil.				V148pc23s
v13pc3r	Presencia del objeto de estudio en el diseño curricular de la oferta académica.				V131pc3s
Perfil	v18pc8r		Relación de coherencia entre perfil, contenidos y formación integral.	V136pc8s	
	v16pc6r		Presencia del perfil en diferentes modalidades.	V134pc6s	
	v17pc7r		Relación de coherencia entre perfil y la demanda social.	V135pc7s	
	v19pc9r		Equilibrio entre saberes: cognitivo, actitudinal, afectivo, ejecutor; interacción y/o convivencia social, axiológica, lingüística y tecnológica.	V137pc9s	
	v15pc5r		Presencia de ejes transversales en el plan de estudios.	V133pc5s	
	v14pc4r		Existencia de áreas disciplinarias en el plan de estudios.	V132pc4s	
Estructura curricular	v25pc16r		Balance adecuado entre los diferentes tipos de cursos (teóricos, prácticos, troncales, seminarios etc.).	v143pc16s	
	v35pc28r		Existencia de contenidos del área de ciencias básicas en las carreras de ingeniería.	V153pc28s	
	v34pc27r		Existencia de contenidos de matemática en la estructura curricular de las carreras de ingeniería.	V152pc27s	
	v26pc17r		Existencia de estructura flexible y de mecanismos para la flexibilidad	v144pc17s	
	v37pc30r		Existencia de contenidos del área de diseño de ingeniería en el PE.	V155pc30s	
	v36pc29r		Existencia de contenidos en ciencias de la ingeniería en el PE.	V154pc29s	
	v39pc32r		Existencia de cursos obligatorios en el PE.	V157pc32s	
	v38pc31r		Existencia de contenidos del área de estudios complementarios en el PE.	V156pc31s	

Continúa...

Continuación

		Componentes	Indicador Relevancia	Contenido abreviado de indicadores	Indicador SM	
		Elementos normativos institucionales	v22pc12r	El plan de estudios tiene objetivos claramente definidos.	VI40pc12s	
			v23pc13r	La fundamentación de la carrera conjuga la evolución del conocimiento de la disciplina con el entorno social y nacional.	VI41pc13s	
			v24pc14r	El DC presenta el elemento "justificación de la carrera" elaborado con base en las necesidades del entorno social nacional y en estudios de mercado.	VI42pc14s	
			v28pc20r	El DC presenta número de actualizaciones de los contenidos y de los conocimientos declarados en el plan de estudios.	VI46pc20s	
			v27pc18r	Muestra evidencia constante de que el plan de estudios promueve la formación integral del estudiante.	VI45pc18s	
			v33pc26r	Todo DC presenta los programas oficiales que conforman el plan de estudios.	VI41pc26s	
		Subdimensión Carrera	Autorregulación	v42pc37r	La carrera de ingeniería tiene mecanismos establecidos para la actualización de saberes en el plan de estudios acorde con los niveles de calidad señalados por organismos internacionales de ingeniería.	VI60pc37s
				v41pc36r	Existencia de lineamientos escritos y planificados para la revisión periódica del plan de estudios.	VI59pc36s
				v44pc40r	Análisis de las acciones formativas en los cursos de la carrera de ingeniería.	VI62pc40s
				v64pc68r	Concienciación en profesores y alumnos en torno a la autorregulación de la carrera.	VI82pc68s
				v43pc38r	Participación de académicos en el diseño curricular de las carreras.	VI61pc38s
				v59pc61r	La carrera de ingeniería demuestra liderazgo en la comunidad académica mediante los aportes académicos e investigativos de sus funcionarios.	VI77pc61s
Tutorías estudiantiles			v48pc46r	La carrera presenta lineamientos normativos para la presentación de trabajos académicos del estudiantado.	VI66pc46s	
			v45pc42r	La escuela realiza actividades de apoyo, tutoría y orientación académica para el estudiantado.	VI63pc42s	
			v49pc47r	Listado de eventos académicos y culturales organizados por la carrera en la que participan los estudiantes.	VI67pc47s	
			v50pc48r	Estrategias y mecanismos para incentivar la consulta bibliográfica y el uso de las TICS.	VI68pc48s	
Infraestructura			v46pc44r	Tenencia de equipos especializados y suficientes para la especialización de la disciplina.	VI64pc44s	
			v47pc45r	Tenencia de infraestructura adecuada.	VI65pc45s	

Continúa...

Continuación

	Componentes	Indicador Relevancia	Contenido abreviado de indicadores	Indicador SM
		v54pc54r	Accesibilidad para el uso de laboratorios básicos y especializados.	V172pc54s
		v54pc54r	Accesibilidad para el uso de laboratorios básicos y especializados.	V172pc54s
		v56pc56r	Tenencia suficiente de recursos informáticos acorde al desarrollo tecnológico.	V174pc56s
		v51pc50r	Relación entre el número de estudiantes y la cantidad de recursos informáticos.	V169pc50s
		v55pc55r	Tenencia de laboratorios y talleres especializados para el desarrollo de competencias especializados.	V173pc55s
Dimensión Proceso Curricular	Seguimiento	v52pc51r	Base de datos sobre rendimiento estudiantil.	V170pc51s
		v57pc57r	Listado de participación en actividades de desarrollo profesional y pedagógico del profesorado.	V175pc57s
		v58pc60r	Presentación de proyectos para promover interacción con la industria.	V176pc60s
		v53pc52r	Mejoramiento metodológico en la enseñanza de la ingeniería.	V171pc52s
	Idoneidad	v60pc63r	Adecuado nivel académico que demuestra la idoneidad del profesorado.	V178pc63s
		v62pc65r	Listado de publicaciones científicas del profesorado.	V180pc65s
		v65pc69r	Listado de cursos sobre educación continua en el ámbito de ingeniería para profesores y egresados.	V183pc69s
		v61pc64r	Presenta evidencia referente a la experiencia en la industria por parte del cuerpo docente del área de ingeniería.	V179pc64s
		v63pc66r	Participación del profesorado en sociedades de aprendizaje.	V181pc66s
	Fuente: Elaboración propia basada en los resultados de la investigación de la autora de este artículo.			

componente, denominado Principios curriculares, dada su extensión.

Según el Dendrograma, el primer conglomerado está constituido por los elementos más cercanos o más similares entre sí; son los indicadores que presentan la menor distancia a 0 y en este caso conciernen a los siguientes ítems: (v29pc22r' y 'v40pc35r'), en las figuras 6 y 7, estos reactivos se unen en la primera etapa con un coeficiente de conglomeración (CC) de (CC=,000) según historial de conglomeración. Le siguen los indicadores ('v21pc11r' y 'v30pc23r')

números (2 y 3) (CC=,000) conglomerando en la segunda etapa. Estos cuatro indicadores constituyen el primer conglomerado, como se mencionó anteriormente, por estar al mismo nivel, por su cercanía natural y por su proximidad a cero. Al analizar en detalle el significado semántico de los dos primeros ítems mencionados, se comprueba la cercanía existente entre ellos por el contenido que estos profesan. Es decir, el primer ítem ('v29pc22r') se refiere a la *relación de coherencia entre contenidos, metodología y evaluación*, el otro indicador ('v40pc35r') hace mención a la *relación*

Cuadro 2. Resultados de análisis de confiabilidad por componentes según criterios de relevancia y de susceptibilidad de mejora.

Componentes	Alfa de Cronbach Relevancia	Alfa de Cronbach Susceptibilidad Mejora
DC	,850	,927
P C	,900	,950
P	,667	,740
EC	,667	,689
ENI	,766	,799
C	,920	,897
AR	,747	,683
TE	,848	,848
INF	,987	,768
S	,783	,716
ID	,900	,953

Siglas: DC= diseño curricular\*, PC= principios curriculares, P= perfil, EC= estructura curricular; ENI= elementos normativos institucionales, C= carrera\*, AR= autorregulación, TE= tutorías estudiantiles, INF= infraestructura, S= seguimiento, ID= idoneidad docente. \*Subdimensiones.

de congruencia entre la Escuela, la carrera y la institución. Ambos contenidos son semánticamente muy próximos, en el sentido de que determinan dos tipos de principios curriculares –coherencia y congruencia–, los cuales son importantes en el diseño curricular. Esta cercanía generada naturalmente por el Dendrograma apoya el significado de estos dos indicadores y su entorno de acción para lo que fueron creados en este estudio doctoral. Con respecto al segundo dúo de ítems, es decir ('v21pc11r' y 'v30pc23r'), el contenido del primero se refiere a la existencia de principios curriculares en el diseño del plan de estudios, y el otro indica la necesidad de que existan actividades analíticas que comprueben las relaciones de coherencia entre los elementos que conforman el perfil. Teniendo presente lo que indica la escala horizontal del Dendrograma, estos indicadores muestran una distancia euclídea menor a 5 unidades entre los centroides de los conglomerados; también se infiere que dichos indicadores quedan a una distancia re-escalada muy por debajo de 5, como se muestra en el gráfico del Dendrograma de Ward.

Un segundo conglomerado lo conforman los siguientes indicadores ('v120pc34r' y 'v119pc33r') números 12 y 13 del Dendrograma, (CC=0,500), los que se agrupan en la tercera etapa según historial de conglomeración; le siguen los ítems ('v12pc2r' y 'v13pc3r'), números 4 y 5 con un (CC=,1000)

Dendrogram using Ward Method

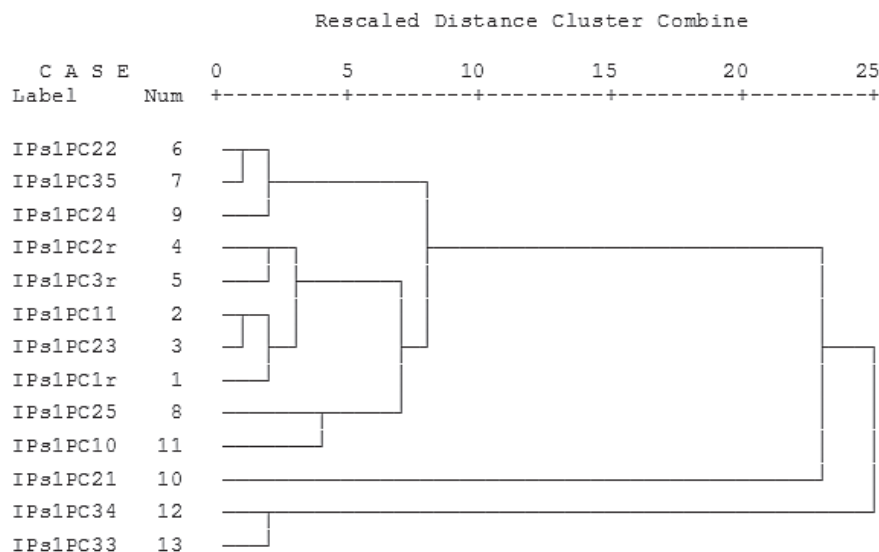


Figura 3. Dendrograma de Ward del componente Principios curriculares.

congregándose en la cuarta etapa según historial de conglomeración; están también los reactivos ('v29pc22r' y 'v31pc24r') números 6 y 9, (CC=1,667), los que se aglutinan en la quinta etapa según historial de conglomeración; se observan además ('v11pc1r' y 'v21pc11r') números 1 y 2, (CC=2,333), agrupándose en la sexta etapa. Al examinar el resultado natural obtenido mediante el Dendrograma y desde el análisis del contenido que subyace en estos indicadores, se comprueba en el primer dúo de ítems ('v120pc34r' y 'v119pc33r') la cercanía de ambos al expresar el primero ('v120pc34r') la *relación de congruencia entre cursos y formación*; el segundo ítem ('v119pc33r') se refiere a la *coherencia entre formación recibida y título otorgado*. Con respecto a la segunda pareja ('v12pc2r' y 'v13pc3r'), el contenido del primer indicador se refiere a la *relación de coherencia entre Misión-Visión y objetivos institucionales* y el segundo hace referencia a la necesidad de dejar bien explícito *el objeto de estudio en el diseño curricular de la carrera*. Estos mismos reactivos tienden a conglomerarse relativamente pronto (tercera y cuarta etapa según historial). Teniendo presente lo que indica la escala horizontal del Dendrograma, estos indicadores muestran -al igual que el primer conglomerado- una distancia euclídea que no llega a las 5 unidades entre los centroides de los conglomerados, pues quedan -según nuestra apreciación- a una distancia re-escalada menor a 5, como se muestra en el gráfico del Dendrograma de Ward. Con respecto al tercer dúo, es decir; ('v29pc22r' y 'v31pc24r'), el contenido del primero se refiere a *relación de coherencia entre contenidos, metodología y evaluación* y el otro hace mención a *la relación de coherencia entre el creditaje y el título*. La cercanía de ambos queda confirmada al comprobarse que sus contenidos se refieren al principio curricular de coherencia, el cual como advertíamos antes es uno de los más importantes en materia de diseño curricular; por lo tanto la cercanía de ambos indicadores es más que evidente. Los contenidos de la última pareja de este grupo, es decir, los indicadores ('v11pc1r' y 'v21pc11r'), también se muestran relacionados al referirse a principios curriculares como el dúo anterior. El contenido del primero relata *la relación de coherencia entre el plan de estudios y la profesión* y el segundo la *existencia de principios curriculares* en el diseño del plan de estudios.

Un *tercer conglomerado* está formado por los indicadores ('v12pc2r' y 'v30pc23r'). El contenido del

primer ítem se refiere a la relación de *coherencia entre la Misión-Visión y los objetivos institucionales* y el segundo relata la necesidad de contar con *actividades analíticas para la comprobación de la correspondencia entre contenidos y facultades cognitivas y actitudinales* del plan de estudios. La cercanía de ambos queda comprobada según CC. El contenido de ambos se relaciona mediante el principio curricular de coherencia, el cual tiene gran importancia ya que extiende significativamente el sentido de correspondencia que debe existir entre los elementos microcurriculares (como la coherencia entre contenidos y competencias formativas) y los elementos macrocurriculares referentes a la orientación y a la razón de ser de una institución universitaria como el ITCR (visualizada mediante su Misión y Visión). La existencia de estas relaciones beneficia la formación integral de los estudiantes y la reputación de la institución.

El cuarto conglomerado lo conforman los indicadores ('v32pc25r' y 'v20pc10r'). El contenido del primero se refiere a la necesidad de contar con *lineamientos curriculares para la interdisciplinariedad*; el segundo describe la necesidad de contar con *lineamientos pedagógicos en el diseño curricular*. Ambos contenidos abogan por la urgencia de lineamientos, por lo cual su cercanía temática es clara tanto como la cercanía natural que se evidencia en el Dendrograma. El quinto conglomerado lo componen los indicadores ('v32pc25r' y 'v13pc3r'). El contenido del primero, como ya se indicó, se refiere a la necesidad de contar con *lineamientos curriculares para la interdisciplinariedad*; el otro, como también se indicó con anterioridad, se refiere a la necesidad y urgencia de contar en forma clara con *el objeto de estudio en el diseño curricular de la carrera*. La cercanía de ambos es evidente en el sentido de referirse a lineamientos curriculares que son importantes en el diseño de una profesión.

El sexto conglomerado está compuesto por los indicadores ('v40pc35r' y 'v30pc23r') cuyos contenidos también se refieren al principio curricular de coherencia. El primero hace alusión a *la relación de congruencia entre la escuela, la carrera y la institución* y el otro a la necesidad de contar con *actividades analíticas para la comprobación de la correspondencia entre contenidos y facultades cognitivas y actitudinales* del plan de estudios. Ambos contenidos son muy cercanos en la función que expresan del principio coherencia.



El sétimo conglomerado lo forman los indicadores ('v12pc2r' y 'v107pc21r'). El contenido del primero se refiere a la relación de *coherencia entre la Misión-Visión y los objetivos institucionales* y el segundo relata la necesidad de *la existencia de mecanismos que favorezcan la flexibilidad en el diseño curricular* de las carreras de esta institución. Ambos contenidos se refieren a dos elementos fundamentales del currículo, es decir, la consideración de lo institucional y la presencia de mecanismos que favorezcan la flexibilidad en el diseño curricular. Estos dos componentes pertenecen al ámbito de lo macrocurricular y quizás es por este factor que se añade un poco de independencia a la relación de ambos en torno a los otros conglomerados y a la lejanía que se muestra en el Dendrograma. Sin embargo, la cercanía entre ambos es clara. El conglomerado más distante lo conforman los indicadores ('v120pc34r' y 'v30pc23r'). El contenido de ambos está relacionado al referirse al principio de coherencia curricular. En ese sentido, el primero se refiere a la *relación de coherencia entre cursos y plan de formación*; el otro se refiere a la necesidad de incorporar *actividades analíticas que comprueben las relaciones de coherencia entre los elementos que conforman el perfil*. El primero presenta más variabilidad que el segundo. Asimismo, el rango promedio es bajo y presenta valoraciones atípicas en su evaluación. En relación con el contenido de ambos, se infiere que la lejanía que presentan podría estar relacionada con la ausencia de mecanismos que corroboren en forma precisa si los contenidos de los cursos están siendo coherentes, tanto con los elementos que conforman el perfil como con el plan de formación que los estudiantes actuales están necesitando. En el cuadro 3 se muestra el historial de conglomeración de este componente.

### Resultados del análisis de factores

Los resultados obtenidos mediante la adecuación muestral o índice de (KMO= 0,644), la prueba de esfericidad de Bartlett y la puntuación de significancia obtenida (Sig.=,000) son datos para proceder con la determinación de los factores en este análisis factorial. Se obtiene primero el análisis de "comunalidades" cuyos resultados se muestran en la cuadro 4, luego la matriz factorial y la varianza total explicada. Tal y como se observa en dicho cuadro, todos los puntajes obtenidos son mayores a (0,70) superando con creces el valor tradicional de (0,30). Dado que los resultados de

las comunalidades son pesos factoriales bastante altos, se puede afirmar en este caso, basados en Hernández, Fernández y Baptista (2003, p. 571), que, en efecto, "*los ítems cargan o forman parte del factor o constructo correspondiente*" y explican en una misma dirección el constructo al que representan. Se extrajo además la matriz de la varianza total explicada, la cual no se muestra por razones de espacio en este artículo. Se extrajo también la matriz factorial, la cual involucra el cálculo de los autovalores y la varianza total explicada. En este caso, tomando en cuenta las puntuaciones de las saturaciones, existen claramente tres factores mediante los cuales es posible explicar el 83,20% de la varianza total explicada. El factor que más aporta a la explicación de la varianza es el 1, que contribuye con un 53,58%. Le sigue el factor 2 con un puntaje de 21,20% y el factor 3, que explica el 8,41% de la varianza. No obstante lo anterior, los dos primeros factores son los más significativos, ya que solo estos dos elementos explican el 74,79% de la varianza. El diagrama de sedimentación muestra la representación gráfica de la magnitud de los autovalores, los cuales, como se mencionó, son altos y han quedado bien definidos mediante el corte de inflexión de la cresta descendiente de dicho gráfico con los tres factores que mejor explican el total de la varianza explicada. Mediante la matriz de estructura factorial se obtuvo la solución factorial propiamente, la que contiene las correlaciones entre las variables originales o saturaciones y cada uno de los tres factores. Se aprecia que el primer factor está constituido por las variables referentes a la *relevancia*, todas las cuales saturan en un único factor porque constituyen un grupo diferenciado de variables dentro de la matriz de correlaciones. El segundo factor contiene las variables referentes a la *susceptibilidad de mejora*. El tercer factor está formado por una única variable que aparece no estar saturando en los otros dos factores, esta corresponde a *PA\_suscep*. En la figura 5 se nota que dicha variable es la única que queda en el espacio tridimensional del componente del factor 3. Se muestran los Gráficos de Sedimentación y el de Componentes Rotados, figuras 4 y 5, respectivamente.

### Resultados obtenidos en torno al análisis de contenido de los indicadores de proceso de la dimensión Proceso curricular

Llegados a este punto, el fin primordial del análisis realizado es determinar en forma sintética categorías conceptuales con relación al contenido de los

Cuadro 3. Historial de conglomeración del componente "principios curriculares"

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes Conglomerado 1	Etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez		Próxima etapa Conglomerado 2
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 2	Conglomerado 1	
1	6	7	,000	0	0	5
2	2	3	,000	0	0	6
3	12	13	,500	0	0	12
4	4	5	1,000	0	0	7
5	6	9	1,667	1	0	10
6	1	2	2,333	0	2	7
7	1	4	3,567	6	4	9
8	8	11	5,067	0	0	9
9	1	8	8,024	7	8	10
10	1	6	11,200	9	5	11
11	1	10	20,864	10	0	12
12	1	12	31,692	11	3	0

Cuadro 4. Índices de comunalidades por dimensiones  
Según análisis de factores

	Inicial	Extracción
PCurri_relevancia	1,000	,748
Enseñanza_relevancia	1,000	,831
PA_relevancia	1,000	,783
PE_relevancia	1,000	,853
Plrelevancia	1,000	,881
PF_relevancia	1,000	,807
PCurri_suscep	1,000	,831
Enseñanza_suscep	1,000	,847
PA_suscep	1,000	,955
Plsuscep	1,000	,786
PF_suscep	1,000	,787
PE_suscep	1,000	,874

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

indicadores que han sido evaluados como a.- los *más relevantes* y *más susceptibles de mejora*, b.- los *menos relevantes* y los *menos susceptibles de mejora*, c.- los que han sido evaluados tanto *relevantes* como *susceptibles de mejora*. Para la categorización indicada, se tomaron como base los resultados obtenidos en los análisis de Media aritmética y de Rangos promedio así como también la clasificación de ítem por disposición de la *relevancia* y de la *susceptibilidad de mejora* según perfil de importancia que se realizó. Mediante las figuras 6 y 7 se muestran las Medias logradas y el cuadro 5 despliega la clasificación de indicadores por disposición de la relevancia y de la susceptibilidad de mejora.

### Conclusiones

Los resultados de validez alcanzados en esta investigación ofrecen evidencia suficiente para respaldar los indicadores de proceso como ítems de calidad, ampliamente válidos y confiables para proporcionar información válida, lícita, efectiva y confiable en la evaluación de la dimensión Proceso curricular. Con estos análisis, tanto el evaluador como las audiencias podrán tener la confianza y respaldo empírico

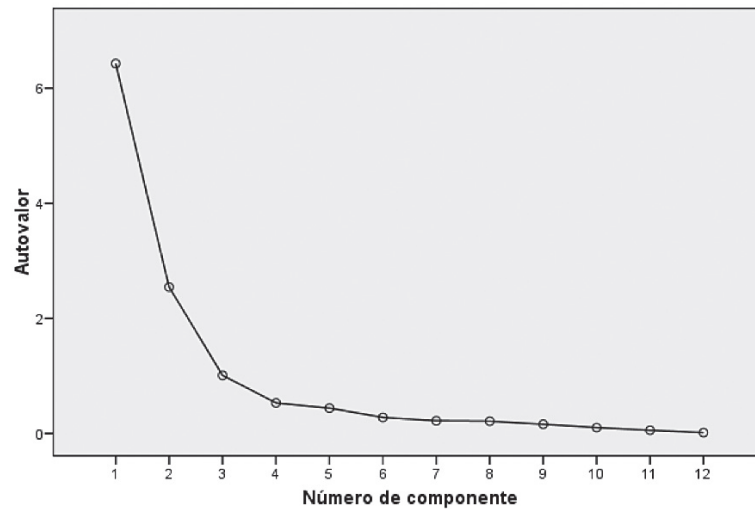


Figura 4. Gráfico de sedimentación por autovalores según número de componentes. Análisis de factores.

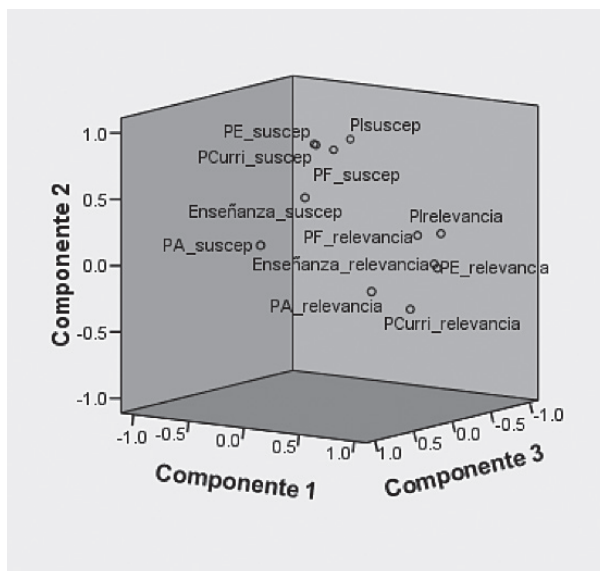


Figura 5. Componentes en espacio rotado según análisis de factores.

suficientes para aplicarlos en un proceso de evaluación y posteriormente en la toma de decisiones. Asimismo, podrán proveer y generar información pertinente sobre el estado actual de una de las dimensiones que constituyen el área de Formación universitaria. En ese sentido, los tres tipos de validez a los que fueron sometidos los indicadores de proceso, así como los resultados positivos logrados, son elementos garantes de la calidad técnica de estos ítems. Por consiguiente, se logra así alcanzar los objetivos que enmarcan este escrito.

Teniendo en cuenta lo señalado en páginas anteriores por Krippendorff (1997, p. 81) y lo que anotan Hernández, Fernández y Baptista (2003, p. 347) en torno a la validez de contenido, se concluye que ésta quedó determinada mediante el análisis Perfil de importancia respecto al contenido de los indicadores, así como también por el análisis de media aritmética, de rangos promedio y del cociente de variación, como ya se mencionó. Estos cuatro tipos de análisis hicieron posible identificar categorías conceptuales en relación intrínseca con los contenidos de los enunciados de los indicadores valorados con la media y rangos más altos de cada componente. En consecuencia, al triangular estos hallazgos con los análisis de conglomerados jerárquicos se logra demostrar que las agrupaciones naturales y matemáticas -que genera dicho análisis a través del método Ward- son congruentes con las categorías conceptuales encontradas mediante el análisis de Perfil de importancia. Por tanto, lo anterior significa que los indicadores construidos, y que tienen como fin valorar la pertinencia y la susceptibilidad de mejora de la dimensión Proceso curricular, son ítems que “reflejan el dominio específico del contenido del concepto medido” para lo que fueron construidos y mediante sus “componentes semánticos facilitan las inferencias válidas acerca de los datos reunidos”, tal y como afirman Hernández, Fernández y Baptista (2003, p. 347) y Krippendorff (1997, p. 81), respectivamente, en sus correspondientes definiciones de validez de contenido, ya anotadas con anterioridad en el punto 3 de este artículo. Por consiguiente, los

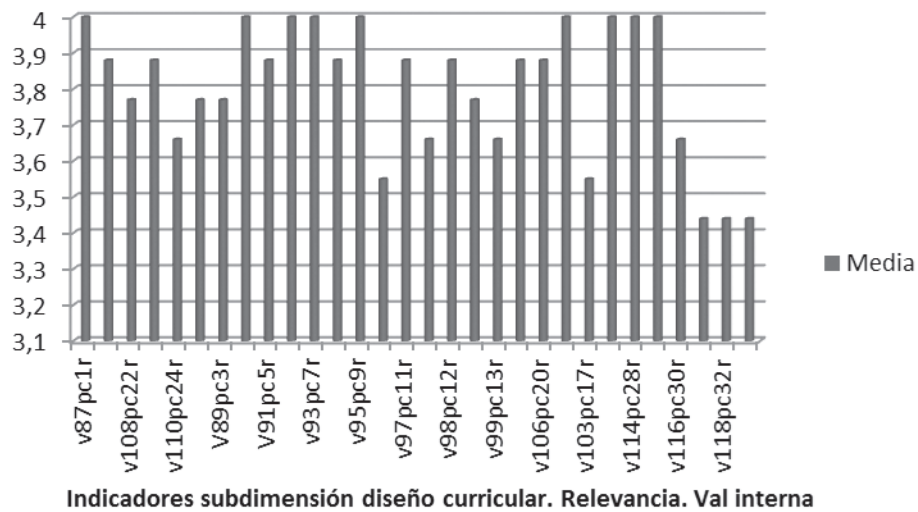


Figura 6. Media de relevancia. Indicadores subdimensión diseño curricular: Validación interna.

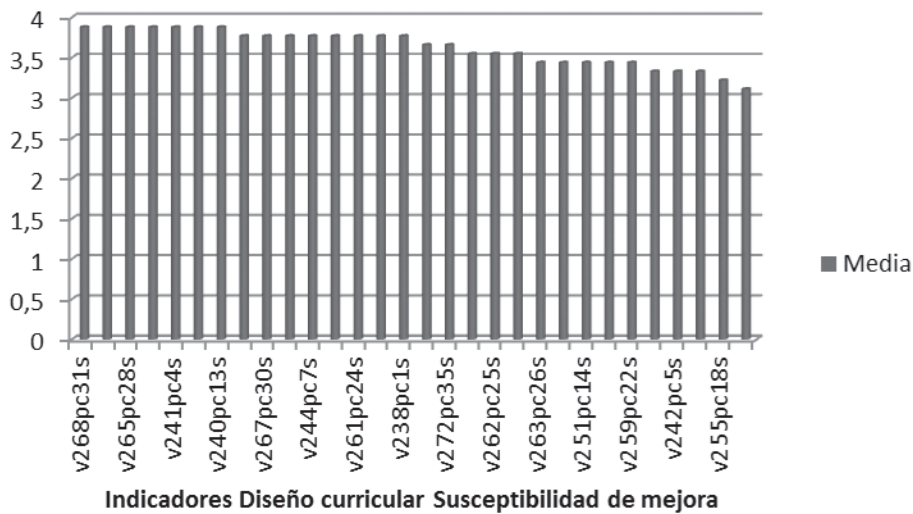


Figura 7. Media de susceptibilidad de mejora. Indicadores subdimensión diseño curricular: Validación interna.

indicadores de proceso aquí analizados tienen una validez de contenido totalmente comprobada.

De igual manera, con relación a la validez de constructo y haciendo alusión a los dos análisis (conglomerados jerárquicos y análisis de factores) utilizados para demostrar dicha validez, se concluye que: En relación directa con el primero: este se utilizó con el fin de establecer grupos o tipologías semánticas entre los indicadores creados, a fin de descubrir agrupaciones naturales entre ellos, lo más homogéneas a lo interno de éstas. Lo anterior se

logró mediante el Dendrograma de Ward, aplicando el método Ward como se indicó en el apartado de resultados. Con este análisis se demostró que la cercanía natural de los indicadores está conforme con las tipologías semánticas que respaldan el enunciado presente en cada uno de los ítems, corroborando de esta manera la validez de constructo de dichos indicadores.

Entrando en mayores precisiones, siempre en la línea del análisis de conglomerados jerárquicos, validez de constructo, pero específicamente en torno al

Cuadro 5. Clasificación de ítems por disposición de relevancia y de susceptibilidad de mejora según análisis Perfil de importancia respecto al contenido de los indicadores de la Dimensión Proceso curricular. Validación externa.

DIMENSIÓN PROCESO CURRICULAR					
Subdimensión Diseño Curricular			Subdimensión Carrera		
Indicador DC	Media relevancia DC	Media Suscep DC	Indicador Carrera	Media Relevancia Carrera	Media Suscep M Carrera
v18pc8r	4,00	3,82	v46pc44r	4,00	3,52
v16pc6r	4,00	3,76	v60pc63r	3,94	3,64
v11pc1r	3,94	3,76	v48pc46r	3,94	3,94
v22pc12r	3,88	3,88	v47pc45r	3,94	3,41
v29pc22r	3,88	3,76	v42pc37r	3,94	3,58
v12pc2r	3,88	3,76	v41pc36r	3,88	3,64
v24pc14r	3,82	3,70	v62pc65r	3,88	3,52
v23pc13r	3,82	3,64	v54pc54r	3,88	3,52
v17pc7r	3,82	3,47	v45pc42r	3,88	3,82
v31pc24r	3,82	3,76	v56pc56r	3,82	3,41
v25pc16r	3,76	3,52	v44pc40r	3,82	3,76
v40pc35r	3,70	3,76	v52pc51r	3,76	3,76
v35pc28r	3,70	3,70	v58pc60r	3,76	3,52
v34pc27r	3,70	3,76	v57pc57r	3,76	3,64
v32pc25r	3,70	3,76	v55pc55r	3,76	3,52
v27pc18r	3,70	3,47	v51pc50r	3,76	3,58
v33pc26r	3,70	3,70	v50pc48r	3,64	3,58
v26pc17r	3,70	3,52	v65pc69r	3,58	3,41
v19pc9r	3,64	3,52	v63pc66r	3,58	3,35
v37pc30r	3,64	3,76	v61pc64r	3,58	3,35
v30pc23r	3,64	3,58	v53pc52r	3,52	3,70
v36pc29r	3,58	3,70	v43pc38r	3,47	3,52
v13pc3r	3,58	3,52	v59pc61r	3,47	3,35
v39pc32r	3,52	3,70	v49pc47r	3,41	3,88
v38pc31r	3,47	3,70	v64pc68r	2,94	3,17
v15pc5r	3,41	3,70			
v14pc4r	3,41	3,64			
v20pc10r	3,23	3,41			
v21pc11r	3,23	3,47			
v28pc20r	3,00	3,23			

Código:

Ítems con fondo gris claro= Indicadores más relevantes y más susceptibles de mejora.

Ítems con fondo en blanco= Indicadores que guardan cierta similitud entre el criterio de relevancia y de susceptibilidad de mejora.

Ítems con fondo gris oscuro= Indicadores menos relevantes y menos susceptibles de mejora.

DC= diseño curricular; Suscep= susceptibilidad de mejora.

área curricular para la cual fueron construidos los indicadores de proceso, se concluye lo siguiente en relación con la subdimensión Diseño Curricular, la cual “es el componente vital del engranaje que forma el proceso curricular” (Lira, 2011, p. 23). En dicha área, en el componente Principios curriculares, el análisis de conglomerados jerárquicos pone a la vista la conglomeración casi inmediata de cuatro indicadores (‘v29pc22r’ y ‘v40pc35r’) y (‘v21pc11r’ y ‘v30pc23r’), (primera y segunda etapa con coeficiente de conglomeración  $CC= 000$ ) primer conglomerado como se mencionó en el punto 5.3. Producto de esta agrupación y de la categorización realizada, se evidencian los principios de *coherencia* y *congruencia* como pilares indispensables para la conformación de diseños curriculares funcionales. Lo importante de esta agrupación matemática obtenida es poder concluir y demostrar, especialmente a los escépticos del currículo, que la cercanía generada naturalmente por el Dendrograma sustenta el significado de esos indicadores y su entorno de acción en la creación de carreras universitarias y sus procesos formativos. Se concluye, por tanto, que en materia de diseño curricular es indispensable contar con coherencia entre perfil, contenidos, metodología y evaluación para generar enseñanza y aprendizajes efectivos. Asimismo, el hecho de que exista congruencia entre los fines de la institución, la escuela y la carrera, genera armonía en los fines formativos que pretende la universidad. Al juntar los contenidos de estos cuatro componentes del primer conglomerado se comprueba que, en efecto, estos indicadores conforman un conjunto de elementos cuya semántica queda referida a elementos normativos insustituibles para el diseño curricular de las carreras universitarias. Por lo cual, es satisfactorio comprobar mediante el Dendrograma la unicidad existente entre ellos, la cual concuerda con el contenido que profesan dichos indicadores en ese primer conglomerado.

Igualmente, al juntar los ítems que conforman el segundo conglomerado (‘v120pc34r’ y ‘v119pc33r’), (‘v12pc2r’ y ‘v13pc3r’, (‘v29pc22r’ y ‘v31pc24r’), (‘v11pc1r’ y ‘v21pc11r’) y teniendo en cuenta las categorías semánticas resultantes del contenido que los embarga, se concluye que las categorías semánticas de estos ítems son mutuamente interdependientes. Por tanto, es indispensable que se mantenga esa simbiosis de contenido para que exista unicidad entre la formación y la certificación que otorga la universidad como compromiso asumi-

do con la sociedad civil. De ahí que es importante la cercanía natural de estos dúos, la cual se comprueba por efecto de conglomeración jerárquica. Se concluye con respecto a la aglutinación de la segunda pareja de ítems (‘v12pc2r’ y ‘v13pc3r’) que la proximidad natural de estos indicadores evidenciada por el Dendrograma resulta importante, ya que la semántica de dichos reactivos se refiere a aspectos del diseño curricular que llevan a generalizaciones más amplias como las siguientes: primero, las relaciones de coherencia entre la misión/visión/objetivos institucionales (‘v12pc2r’) hacen que el diseño curricular de las profesiones trascienda la organización; segundo, que el diseño curricular sea considerado un proceso de construcción social y no solamente como un simple acto de acomodamiento de cursos académicos. El hecho de que el ítem (‘v13pc3r’) señale que el objeto de estudio de la carrera está bien claro y sea evidente en el diseño curricular implica darle a este elemento el lugar de importancia que le corresponde. El elemento “objeto de estudio” es el referente por excelencia para caracterizar una profesión (Horruitiner, 2006, p. 8) y determinar las áreas de desempeño laboral hacia las que se dirige el plan formativo. Es, además, el encargado de delimitar las competencias que adquirirá el estudiante en el periodo de su formación. Es satisfactorio, para los efectos de la investigación, poder comprobar la unicidad natural de acople que presentan estos indicadores (‘v12pc2r’ y ‘v13pc3r’) y que son contundentemente evidentes mediante el Dendrograma de Ward.

Del análisis realizado a los nueve componentes que conforman la dimensión Proceso curricular se concluye en forma fehaciente que los datos obtenidos demuestran que existe cercanía natural y uniformidad consistente entre los indicadores de los diferentes componentes a los que pertenecen. Se manifiesta que existe cercanía a cero en bastantes conglomerados, pues la mayoría de ellos queda a una distancia re-escalada de 5 del resto, tal y como se demostró en el dendrograma que se generó en forma independiente para cada componente. Este dato corrobora la validez de constructo de los indicadores que conforman esta dimensión. Asimismo, estos datos confirman la importancia de los enunciados que poseen los indicadores para el área curricular y en particular para el Proceso Curricular y sus componentes.

En relación con el análisis de factores, en forma general y en referencia específica a dos de las cuatro partes que constituyen el análisis factorial, es decir, a la solución factorial y a la composición de cada factor, se concluye lo siguiente:

- A. Con respecto a la estructura general de la solución factorial, esta quedó constituida por tres factores, principalmente después de la rotación con cargas factoriales mejor distribuidas que antes de la rotación. Dichas cargas factoriales que conforman estos tres componentes puntúan alto y son positivas, oscilando entre (0,783 y 0,922). Ninguna de estas es bipolar; por lo que están representando el respectivo constructo en forma significativa.
- B. Con respecto a la composición de cada factor (e involucrando las otras dimensiones y el otro tipo de indicadores construidos para efectos de la propuesta madre), se afirma que el componente o factor 1 queda conformado por 6 variables homogéneas que conforman las dimensiones: PCurri\_relevancia, Enseñanza\_relevancia, PA\_relevancia, PE\_relevancia, PI\_relevancia y PF\_relevancia, en las cuales se encuentran los indicadores de proceso y de producto que han sido creados para medir la relevancia de las áreas de Formación universitaria y de Impacto. Sus respectivas cargas factoriales unipolares son, en el mismo orden de mención, las siguientes: (,820), (,910), (,783), (,922), (,898) y (,965), todas las cuales saturan en el mismo factor porque constituyen un grupo diferenciado dentro de la matriz de correlaciones y reafirmada al aplicar la rotación: Normalización Oblimin con Kaiser. El factor 2 queda constituido por 5 variables también homogéneas que instituyen las dimensiones de: Enseñanza\_suscep, PI\_suscep, PF\_suscep y PE\_suscep, en las que se agrupan los indicadores de proceso y de producto que han sido elaborados precisamente para medir la posibilidad o susceptibilidad de mejora que tienen dentro de las áreas de Formación Universitaria y de Impacto que conforman la propuesta modélica madre, de la cual este artículo es una parte, como se indicó al inicio. Las cargas factoriales correspondientes que saturan en este factor de estas variables son: (,736), (,874), (,881) y (,922) en orden respectivo. El factor 3 está conformado por una única

variable que comprende la dimensión PA\_suscep constituida por indicadores de proceso cuyo peso factorial es alto (,951) y es unipolar. Los tres factores logrados son independientes entre sí, ya que saturan en uno solo de los factores. Por todo lo anteriormente expuesto, se considera que los resultados obtenidos son satisfactorios y mediante ellos se ha comprobado la validez de constructo de las dimensiones e indicadores de proceso que conforman el área de Formación Universitaria en la cual se ubica la dimensión Proceso curricular con sus respectivos componentes.

En relación con la confiabilidad y según los resultados obtenidos mediante las puntuaciones del Alfa de Cronbach, se comprueba que dichos valores son significativos para los efectos de esta investigación. Así se desprende del análisis realizado a los diez componentes que conforman la dimensión Proceso Curricular y que fueron mostrados en el cuadro 2. Se concluye que todos presentan valores aptos, altos y positivos de confiabilidad. Dichos valores señalan que los indicadores que representan cada componente no muestran ninguna ambivalencia en sus enunciados o contenidos; señalan además un uso confiable, adecuado y consistente de los indicadores que conforman cada uno de los componentes y sus respectivas dimensiones. El análisis por componentes también indica que los resultados de fiabilidad son altos y positivos para los efectos para los que han sido creados.

Finalmente, y de forma general, se concluye que los indicadores de proceso construidos son representantes relevantes y susceptibles de mejora de los componentes a los que pertenecen; denota además el enunciado que cada indicador posee una condición viable cuya condición de mejora o susceptibilidad de mejora se puede obtener. Los resultados obtenidos en estos análisis son positivos y permiten proponer indicadores de calidad que contienen validez de constructo comprobada para la evaluación de la dimensión Proceso Curricular en la Educación Superior. Estos constituirán un insumo más para ser considerado por evaluadores y por audiencias específicas para la evaluación de esta importante área de la formación universitaria y servirán de referentes indispensables para la toma de decisiones en términos de mejora institucional.

## Bibliografía

- Alvira Martín, F. (1985). La investigación evaluativa: una perspectiva experimentalista. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas* Enero-Marzo, (29): 129-141.
- Bodgan, R.C. & Binklen, S.K. (1982). *Qualitative Research for Education: an Introduction to Theory and Methods*. Boston: Allyn & Bacon.
- Carr, Wilfred & Kemmis, S. (1988). *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación acción en la formación del profesorado*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.
- Coll, C. (1998). *Pedagogía y Curriculum*. Barcelona: Editorial Laia S.A.
- Cook, T.D. & Reichardt, C.H. (1997). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. España: Morata.
- De Alba, A. (1994). *Curriculum, crisis, mito y perspectivas*. México: Universidad Nacional de México.
- De la Torre, S. (1999). Creatividad en la reforma española. *Revista de Educación* (319): 187-198.
- Días Barriga, Á. (1984). *El currículum de pedagogía: un estudio exploratorio desde una perspectiva estudiantil*. UNAM, México: ENEP-Aragón.
- Flórez Ochoa, R. (2000). *Hacia una pedagogía de conocimiento*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill Interamericana S.A.
- Follari, R. & Berrueto, J. (1981). Criterios e instrumentos para la revisión de planes de estudio. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, XI (1): 161-185.
- Grundy, S. (1897). *Curriculum: Product or Praxis*. US: Falmer Press.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2003). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Horruitiner Silva, P. (2006). El reto de la transformación curricular. *Revista Iberoamericana de Educación* 4(3): 1-13.
- Jornet, J.M & Suárez, J.M. (2008b). *Métodos de Investigación y Análisis de datos: Conceptos básicos introductorios generales*. Material de clases del Doctorado en Intervención. Universidad de Valencia: Grupo GEM.
- Krippendorff, K. (1997). *Metodología de análisis de contenido: teoría y práctica*. Barcelona: Paidós.
- Lira Valdivia, R.I. (2010). *Normas y orientaciones para el diseño curricular en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Guía Metodológica*. Documento inédito disponible en el Centro de Desarrollo Académico. Cartago, C.R.: CEDA/TEC.
- Lira Valdivia, R.I. (2010). Las metodologías activas y el foro presencial: su contribución al desarrollo del pensamiento crítico. *Actualidades Investigativas en Educación* 10(1) 1-18.
- Lira Valdivia, R.I. (2011). *Fundamentos del Currículo: una visión para el CEDA-TEC*. Documento inédito disponible en el Centro de Desarrollo Académico. Cartago, C.R.; CCEDA/TEC.
- Lira Valdivia, R.I. (2013). *Diseño de un enfoque modélico de evaluación institucional para el Instituto Tecnológico de Costa Rica: Construcción y validación de los indicadores de proceso y de Producto de las áreas de formación universitaria y de impacto que forman dicho modelo*. Tesis para optar por el grado de Doctora en Intervención Educativa, Universidad de Valencia, España.
- McMillan, J. & Schumacher, R. (2005). *Investigación educativa*. Madrid: Pearson.
- Posner, G. (2005). *Análisis del currículo*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw Hill Interamericana.
- Rodríguez Jaume, M.J. (2000). *Modelos sociodemográficos*. Tesis para optar por el grado de Doctorado en Economía, Universidad de Alicante.
- Ruthman, L. (1977). *Evaluation Research Methods: a Basic Guide*. London: Sage.
- Stenhouse, L. (1991). *Investigación y desarrollo del curriculum*. España: Morata.
- Torres Acuña, W.J. (2003). *Utilización de internet y el bienestar psicológico en estudiantes universitarios de alto y bajo nivel de acceso a la tecnología por computadora*. Tesis para optar por el grado académico de Doctorado en Psicología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido el 14 de septiembre de 2012 desde [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bib-virtualdata/Tesis/Salud/torres\\_aw/T\\_completo.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bib-virtualdata/Tesis/Salud/torres_aw/T_completo.pdf)



## Cronograma 2014

	<b>Vol. 27-1</b>	<b>Vol. 27-2</b>	<b>Vol. 27-3</b>	<b>Vol. 27-4</b>	<b>Vol. 28-1</b>	<b>Vol. 28-2</b>	<b>Vol. 28-3</b>
Recepción de artículos	Mayo - julio 2013	Agosto - octubre 2013	Noviembre 2013 - enero 2014	Febrero - abril 2014	Mayo - julio 2014	Agosto - octubre 2014	Noviembre 2014 - enero 2015
Evaluación de expertos y aprobación	Agosto - setiembre 2013	Noviembre - diciembre 2013	Febrero - marzo 2014	Mayo - Junio 2014	Agosto - setiembre 2014	Noviembre - diciembre 2014	Febrero - marzo 2015
Revisión de estilo y corrección	Octubre 2013	Febrero 2014	Abril 2014	Julio 2014	Octubre 2014	Enero 2015	Abril 2015
Diagramación y correcciones finales	Enero 2014	Marzo 2014	Mayo - junio 2014	Agosto - setiembre 2014	Noviembre - diciembre 2014	Febrero - marzo 2015	Mayo - junio 2015
Publicación del número	Febrero 2014	Mayo 2014	Julio 2014	Octubre 2014	Febrero 2015	Abril 2015	Julio 2015



Editorial Tecnológica  
de Costa Rica

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 y de la práctica profesional y docente en temas científicos y tecnológicos, así como su importancia para el desarrollo del conocimiento. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios.

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 cinco y 15 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 alfabéticamente por el apellido del autor y de acuerdo con el formato APA (American Psychological Association) edición 2010, que establece, entre otros aspectos:
  - **Libro impreso:** Apellido, iniciales del autor: (Año de publicación). *Título del libro*. Lugar de publicación: Editorial.
  - **Libro electrónico:** Apellido, iniciales del autor: (Año de publicación). *Título del libro*. Obtenido desde <http://>
  - **Artículos de revista impresa:** Apellido, iniciales del autor: (Año de publicación). Título del artículo. *Título de la revista*, volumen (número), número de página inicial y final.
  - **Artículos de revista en versión electrónica:** Apellido, iniciales del autor: (mes, año de publicación). Título del artículo. *Título de la revista*, volumen (número), número de página inicial y final. Obtenido desde <http://>
10. Los documentos deberán enviarse a las direcciones electrónicas [editorial@itcrac.cr](mailto:editorial@itcrac.cr) o [alamirez@itcrac.cr](mailto:alamirez@itcrac.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 for authors wishing to publish in

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, and professional and teaching practice on scientific and technology topics, as well as their importance for knowledge-building. The journal's contents are intended for researchers, experts, teachers and university students.

1. All articles must be originals, unpublished, and cannot be simultaneously used in other processes.
2. Papers may be 5-15 pages long (8.5 × 11 in, or 21.59 × 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, the International System of
9. Bibliography will be included at the end of the document, arranged in alphabetical order based on the authors' names, and in keeping with the 2010 edition of the APA (American Psychological Association) format, establishing the following aspects, among others:
  - **Printed book:** Last name, author's initials. (Year of publication). *Book title*. Place of publication: Editorial.
  - **Electronic book:** Last name, author's initials. (Year of publication). *Book title*. Available from <http://>
  - **Printed journal articles:** Last name, author's initials. (Year of publication). Article title. *Name of Journal*, Volume (Number), First and last page numbers.
  - **Electronic journal articles:** Last name, author's initials. (Month, year of publication). Article title. *Name of Journal*, Volume (Number), First and last page numbers. Available from <http://>
10. Papers should be sent to the following emails: [editorial@itcr.ac.cr](mailto:editorial@itcr.ac.cr), or [alamirez@itcr.ac.cr](mailto: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.