



TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenido

Actividad fungistática y fungicida de extractos etanólicos de propóleos sobre el crecimiento *in vitro* de cepas del género *Candida*

Fungistatic and fungicidal activity ethanolic propolis extracts on the *in vitro* growth of strains of *Candida*

Milagros Joya, Marielsa Gil, Gilberto Bastidas Pacheco 3

Características demográficas y su influencia en la planeación estratégica del proceso de mejora continua

The influence of demographics on continuous improvement strategic planning

Melissa Brenes-Bastos, Johanna Madrigal-Sánchez, Henry J. Quesada-

Pineda 12

Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre

Relation of soil parameters on the diversity and spatial distribution of free-living nematodes

Elder Eduardo Castilla-Díaz, Euriel Millán-Romero, Jaime Mercado-Ordoñez,

Carlos Millán-Páramo 24

Medición del conocimiento adquirido en tecnología de la madera por industriales forestales en Costa Rica

Measuring knowledge acquired in wood technologies by forest industries in Costa Rica

Luis Diego Camacho-Cornejo, Cynthia Salas-Garita, Lupita Vargas-Fonseca,

Juan Carlos Valverde-Otárola 35

Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ecológica y calidad del agua en la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Ecological vulnerability and water quality diagnosis of the stream La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Andrea Araya-Ulloa, Guillermo Calvo-Brenes 47

- Comportamiento de nemátodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivo de tomate convencional en Costa Rica
Plant parasitic nematodes behavior in two systems conventional tomato crop in Costa Rica
Joaquín Durán-Mora, Tomás de Jesús Guzmán..... 59
- Caracterización de frutos de cinco genotipos de tacaco [*Sechium tacaco (Pittier) C. Jeffrey*] en Costa Rica
Fruit characterization of five genotypes of tacaco [*Sechium tacaco (Pittier) C. Jeffrey*] in Costa Rica
José Eladio Monge-Pérez, Michelle Loría-Coto..... 71
- Desarrollo de Aplicaciones Utilizando Geoservicios de una Infraestructura de Datos Espaciales. Casos de éxito: Directorio Comercial SC, AgroMAG, IDEHN Mobile
Developing Applications using Spatial Data Infrastructure GeoServices. Use Cases: Directorio Comercial SC, AgroMAG, IDEHN Mobile
Oscar Viquez-Acuña, Leonardo Viquez-Acuña, Marlen Treviño-Villalobos, Marcela Chaves-Álvarez 85
- Actividad hemolítica de la Anémona Marina *Aiptasia Pallida (Cnidaria: Actiniaria: Actiniidae)* de Costa Rica
Hemolytic activity of Sea Anemone *Aiptasia Pallida (Cnidaria: Actiniaria: Actiniidae)* from Costa Rica
Adriana Córdoba-Chávez, Henry Borbón-Alpizar, Javier Alvarado-Mesén, Mónica Zamora-Rodríguez, Roy Soto-Fallas, Daniela Abrego-Ramírez..... 97
- Producción de Hidrógeno a partir de la fermentación de residuos agroindustriales de la piña
Hydrogen production from the fermentation of pineapple agroindustrial wastes
Luisa Montoya-Pérez, J. Esteban Durán-Herrera..... 106
- Radiografía Industrial: comparación entre el método tradicional y digital empleando rayos X
Industrial Radiography: comparison between traditional and digital method using X-ray
Oscar Chaverri-Quirós, Mario Conejo-Solís 119
- Modelo de toma de decisiones de mantenimiento basado en la predicción de vida útil para componentes de sistemas eólicos en Costa Rica
Maintenance decision making model based on useful life prediction for wind power generation systems components installed in Costa Rica
Ana Laura Loría-García, Edgardo Mateo Villalobos-Granados, Carlos Piedra-Santamaría 129

Actividad fungistática y fungicida de extractos etanólicos de propóleos sobre el crecimiento *in vitro* de cepas del género *Candida*

Fungistatic and fungicidal activity ethanolic propolis extracts on the *in vitro* growth of strains of *Candida*

Milagros Joya¹, Marielsa Gil², Gilberto Bastidas-Pacheco³

Fecha de recepción: 21 de julio de 2016
Fecha de aprobación: 7 de octubre de 2016

Joya, M; Gil, M; Bastidas-Pacheco, G. Actividad fungistática y fungicida de extractos etanólicos de propóleos sobre el crecimiento *in vitro* de cepas del género *Candida*. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 3-11.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3268



- 1 Departamento de Microbiología, Escuela de Ciencias Biomédicas, Universidad de Carabobo. Médico Cirujano, Doctora en Ciencias Médica de la Universidad de Carabobo. Venezuela. Correo electrónico: milajoya@gmail.com.
- 2 Laboratorio de Microbiología. Escuela de Ciencias Biomédicas y Tecnológicas, Universidad de Carabobo. Venezuela. Bioanalista/Microbióloga. Correo electrónico: marielsagilfd@hotmail.com.
- 3 Departamento de Salud Pública y Centro de Investigaciones Médicas y Biotecnológicas, Universidad de Carabobo. Venezuela. Médico Cirujano, Doctor en parasitología. Correo electrónico: bastidasprotozoo@hotmail.com.

Palabras clave

Propóleos; *Apis mellifera*; *Candida* spp.; actividad fungistática; actividad fungicida.

Resumen

Los extractos etanólicos del propóleos poseen actividad antifúngica en diferentes especies de levaduras, propiedad de importancia por ser una opción terapéutica económica y poco tóxica respecto a los antimicóticos tradicionales, de particular utilidad sobre especies del complejo *Candida albicans*, patógeno oportunista. A pesar de que la composición química general del propóleos es similar en las distintas regiones del mundo, su actividad antifúngica no parece serlo. El objetivo fue determinar la actividad fungistática y fungicida de propóleos venezolano y de 3 regiones del mundo. Para ello cepas del Complejo *C. albicans*, *C. guilliermondii*, *C. krusei* y *C. tropicalis* se enfrentaron a distintas concentraciones de extractos etanólicos de propóleos. Los propóleos de mayor actividad biológica fueron los de Alemania e Italia (10,2 mg/mL), seguidos por el de Venezuela (15,6 mg/mL) y España (18,8 mg/mL). La CMI en las especies más sensibles a los propóleos fueron *C. krusei* y *C. guilliermondii* (8,6 mg/mL como promedio de los 4 propóleos). Los extractos etanólicos de propóleos italiano y alemán son fungicidas en todas las cepas estudiadas en diluciones de 1/32 (concentración final de 3,12 mg/dL). Se concluye que los extractos etanólicos de propóleos tienen efectos fungistáticos y fungicidas sobre las especies del Complejo *C. albicans*, *C. krusei*, *C. guilliermondii* y *C. tropicalis*; que *C. tropicalis* es la especie más resistente a la acción biológica del propóleos y *C. krusei* y *C. guilliermondii* las más sensibles; que los propóleos de Alemania e Italia son los más efectivos contra las especies de *Candida* aisladas de pacientes venezolanas.

Keywords

Propolis; *Apis mellifera*; *Candida* spp.; fungistatic activity; fungicidal activity.

Abstract

Ethanol extracts of propolis have antifungal activity in different species of yeast, owned by importance as a therapeutic economic option and low toxicity compared to traditional antifungal, particularly useful on species of *Candida albicans*, opportunistic pathogen. Although the overall chemical composition of propolis is similar in different regions of the world, their antifungal activity does not seem to be. The objective was to determine the fungistatic and fungicidal activity of Venezuelan propolis and 4 parts of the world. To do strains of *C. albicans*, *C. guilliermondii*, *C. krusei* and *C. tropicalis* faced different concentrations of ethanol extracts of propolis. Propolis increased biological activity were from Germany and Italy (10.2 mg / mL), followed by that of Venezuela (15.6 mg / mL) and in Spain (18.8 mg / mL). The CMI in the most sensitive species to propolis were *C. krusei* and *C. guilliermondii* (8.6 mg / mL as an average of 4 propolis). Ethanol extracts of propolis Italian and German origin are fungicides in all strains tested at dilutions of 1/32 (final concentration of 3.12 mg/dL). It is concluded that ethanol extracts of propolis have significant fungistatic and fungicidal effects on species *C. albicans*, *C. krusei*, *C. guilliermondii* and *C. tropicalis*; *C. tropicalis* is the most resistant to biological action of propolis and *C. krusei* and *C. guilliermondii* the most sensitive species; propolis that Germany and Italy are the most effective against species of *Candida* isolated from Venezuelan patients.

Introducción

El propóleo es una sustancia resinosa, gomosa y balsámica recolectadas por las abejas (*Apis mellifera*) con el fin de garantizar la asepsia de la colmena porque es particularmente útil en el recubrimiento de los panales antes de la puesta de huevos y para embalsamar animales muertos en el interior de la colmena que, por su tamaño no pueden ser expulsados, además este compuesto es útil en el tratamiento de afecciones humanas [1]-[2]. Es conveniente resaltar que la composición química del propóleo además de ser compleja, porque hasta ahora se le han descrito más de 250 compuestos, puede variar en dependencia directa de la flora del lugar de origen, de la temporada de recolección, del tipo de vegetación, de la especie de abeja, del solvente empleado para su extracción y de la región geográfica, no obstante, y en general en su composición se han aislado terpenos polisacáridos, ácidos aromáticos, polifenos, esteroides de ácidos fenólicos, minerales, vitaminas y aminoácidos, compuestos que sin duda le dan un amplio espectro de propiedades biológicas y farmacológicas, entre las que destacan las antioxidantes, antiinflamatorias, hipoglicemiantes, inmunomoduladoras, antitumorales, anticancerígenas, antiulcéricas, hepatoprotectoras, cardioprotectoras, neuroprotectoras, antibiótica y antifúngica [2]-[3]-[4]-[5]-[6] [7]-[8]-[9]-[10].

La actividad antifúngica de los extractos de propóleo se observa por inhibición del crecimiento y proliferación en diferentes especies de levaduras como el Complejo *Candida albicans* y *C. glabrata*, acción posiblemente debida, al ácido cafeico, el p. coumarate de bencilo, la pinocambрина y la pinobanksina. Entonces el propóleo puede vislumbrarse como potencial tratamiento contra las infecciones por hongos, tanto levaduriformes como filamentosos sobre la base del constante aumento de la prevalencia de las micosis, del desarrollo de resistencia a agentes antimicóticos actuales, de los efectos adversos que poseen estos antimicóticos y porque la terapia con propóleo resulta económica y poco tóxica (dosis diarias de 1.400 mg/kg no ocasiona efectos adversos en ratones, aunque el consumo bruto en el hombre puede generar náuseas), de allí la necesidad de realizar ensayos sobre su efecto antimicótico y también porque la composición química del propóleo aunque similar puede presentar pequeñas variaciones en distintas regiones del mundo que requieren ser precisadas [1]-[2]-[3]-[11]-[12]-[13]-[14].

Además en países en vía de desarrollo donde son frecuentes las enfermedades debilitantes y la desnutrición se producen generalmente micosis oportunistas, especialmente por el género *Candida spp*, fundamentalmente en mucosas de la boca y vagina, en piel, uñas y de manera excepcional en pulmones e intestino; además entre 2% y 15% de los sujetos colonizados pueden terminar en candidiasis diseminada, con mortalidad de hasta 79%, en consecuencia es preciso adelantar investigaciones en países como Venezuela donde la información es escasa, a pesar de que la actividad biológica del extracto etanólico de propóleo sobre *Candida spp*. ha sido demostrada en diferentes regiones geográficas como Egipto, Turquía, Bulgaria, Brasil, El Salvador y Cuba, por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la efectividad de propóleos procedentes de 4 regiones geográficas distintas sobre el crecimiento de *Candida spp* [15]-[16]-[17]-[18]-[19]-[20]-[21].

Materiales y métodos

Extractos etanólicos de propóleos

En este estudio se emplearon 4 propóleos comerciales al 60% (concentración final de 100mg/mL) producido por abejas *Apis mellifera* de regiones geográficas de Alemania (Berlín), España (Barcelona), Italia (Roma) y Venezuela (Carabobo). En la preparación, por parte del apiario, de estos propóleos se usó como solvente etanol al 70%.

Cepas de hongos

Se usaron 4 cepas patógenas del género *Candida* spp. de origen humano obtenidas de exudado vaginal de cuatro mujeres distintas del estado Carabobo, Venezuela, estas fueron complejo *C. albicans*, *C. guilliermondi*, *C. krusei* y *C. tropicales*. Las cepas fueron mantenidas hasta su utilización en el cepario del Laboratorio de Diagnóstico Bacteriológico del Departamento de Microbiología de la Universidad de Carabobo. Las 4 cepas fueron identificadas, a través, de las características macro y microscópicas de cepas de cultivo por medio de procedimientos tradicionales (filamentación en suero, producción de clamidoconidios en agar harina de maíz, crecimiento en CHROMagar *Candida*) (Sawaya et al., 2002). Las cepas *C. albicans* (ATCC 90028), *C. krusei* (OD-18 CG3 220o3), *C. guilliermondii* (SA-34A 72o6) y *C. tropicalis* (OD-17 CG2 220o2) fue incluida como control de calidad.

Macrodilución de las suspensiones micóticas con extractos etanólicos de propóleos

Las cepas para la pruebas fueron sembradas en caldo Sabouroud e incubadas a temperatura ambiente por 24 horas para estimular el crecimiento, para ser luego repicadas en agar sangre y mantenidas por 24 horas a temperatura ambiente y finalmente suspendidas en caldo Sabouroud hasta alcanzar la turbidez del patrón Mc. Farland de 1% equivalente a 3.0×10^8 UFC/mL en cámara de Neubauer. Se preparó una batería de 8 tubos de ensayos de 12x75 para cada extracto etanólico de propóleos. En 6 tubos se realizaron diluciones seriadas (de 1mL) de cada propóleos a partir de 60% (100mg/dL), $\frac{1}{2}$ (30%), $\frac{1}{4}$ (15%), $\frac{1}{8}$ (7,5%), $\frac{1}{16}$ (3,75%) y $\frac{1}{32}$ (1,87%), en concentraciones que oscilan entre 13,12 y 100 mg/mL. Luego se agregó a cada dilución 100 μ L ($0,3 \times 10^8$ UFC) de la suspensión al 1% de Mc Farland de cada hongo, los extraídos de secreción vaginal y los de referencia. Como controles se emplearon un tubo de ensayo con solo cepa y otro con solo el propóleos, con esto se completa la batería de 8 tubos. Las mezclas se homogeneizan y mantienen a temperatura ambiente por 24, 48 y 72 horas. Las pruebas se realizan por triplicado para cada extracto etanólico de propóleos.

Determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI)

Al término de la incubación se traspasó 10 μ L de cada tubo a placas de agar sabouroud utilizando un asa calibrada, realizando la técnica de sembrado por agotamiento (Herrera, 2010), posteriormente se incubo durante 24, 48 y 72 horas a temperatura ambiente, al término de este tiempo se realizó inspección visual de cada placa. La CMI se determinó como la concentración mínima de extracto etanólico de propóleos donde no hubo crecimiento visible después del periodo de incubación [22].

Determinación de la concentración mínima fungicida (CMF)

En este caso de cada tubo de dilución se obtuvo una muestra de 10 μ L y se inoculo en caldos de agar sabouroud, los caldos se incuban por 72 horas tiempo máximo en que se observa crecimiento del cultivo control y se realiza observación visual de los caldos. La CMF fue considerada como la concentración más baja en que se inhibe el crecimiento del hongo (en más de 90%) en el medio liquido utilizado [23].

Resultados

Se observó actividad inhibitoria en todas las especies de *Candida* y con los propóleos comerciales de las cuatro regiones examinadas, pero con variaciones en la CMI entre los diferentes extractos de propóleos, los de mayor actividad biológica fueron los procedentes de Alemania e Italia (10,2 mg/mL como promedio de la cepa tipo y estudiadas), seguidos por el extracto etanólico de propóleos de Venezuela (15,6 mg/mL como promedio de la cepa

tipo y estudiadas) y finalmente el de España (18,8 mg/mL como promedio de la cepa tipo y estudiadas). Con todos los extractos de propóleos la CMI fue igual para cepas de referencia y estudiadas. Todas las especies de *Candida* vieron inhibido su crecimiento en consideración a la concentración de extractos etanólicos de propóleos en el siguiente orden: *C. krusei* y *C. guilliermondii* (8,6 mg/mL como promedio de los 4 propóleos), *C. albicans* (12,5 mg/mL como promedio de los 4 propóleos) y *C. tropicalis* (concentración promedio con todos los extracto etanólicos de propóleos fue de 25 mg/mL como promedio de los 4 propóleos) (cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de concentración mínima inhibitoria de extractos de propóleos sobre cepas de *Candida* spp. de referencia y aislada de secreciones vaginales de mujeres del estado Carabobo.

Extracto de propóleos	CMI (mg/mL)							
	<i>C. albicans</i> (ATCC 90028)	<i>C. albicans</i> (muestra)	<i>C. krusei</i> (OD-18 CG3 220o3)	<i>C. krusei</i> (muestra)	<i>C. guilliermondii</i> (SA-34A 72o6)	<i>C. guilliermondii</i> (muestra)	<i>C. tropicalis</i> (OD-17 CG2 220o2)	<i>C. tropicalis</i> (muestra)
Alemania	6,25	6,25	6,25	6,25	3,12	3,12	25	25
España	25	25	12,5	12,5	12,5	12,5	25	25
Italia	6,25	6,25	3,12	3,12	6,25	6,25	25	25
Venezuela	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	25	25

Fuente: Pruebas fungistáticas realizadas por los investigadores.

Los extractos etanólicos de propóleos de origen italiano y alemán inhibe el crecimiento en más de 90% en todas las cepas estudiadas en diluciones de 1/32, cuya concentración final es de 3,12 mg/mL, mientras que el español y el venezolano lo hacen para todas las cepas estudiadas a partir de la dilución de 1/8 (12,5 mg/mL), es decir, son 4 veces menos eficientes que los propóleos Alemán e Italiano. En todos los casos *C. tropicalis* requiere de diluciones de 1/4 (25 mg/mL) para que pueda inhibirse en más de 90% su crecimiento en medio sólido. En resumen se aprecia que la actividad fungicida es similar entre propóleos de Alemania e Italia y entre los originarios de España y Venezuela (cuadro 2).

Discusión

Desde finales de la década de los 80 se reporta actividad fungistática y fungicida de los extractos etanólicos sobre levaduras aisladas de distintas partes del cuerpo humano, hecho también corroborado en esta investigación, pues se observó actividad inhibitoria en todas las especies de *Candida*. examinadas, pero con variaciones en la CMI y CMF, al respecto la mayor actividad biológica la mostraron los extractos etanólicos de propóleos de Alemania e Italia versus los de España y Venezuela atribuible este hallazgo a la variabilidad en la composición química ya registrada en varias regiones del mundo, ya que, hasta ahora, aunque se tienen indicios, no se ha demostrado que exista una sustancia individual o un grupo de ellas que sea la responsable directa de la actividad biológica y se cree que las diferencias en cuanto a CMI y CMF se deba a una acción sinérgica entre diferente compuestos característicos de cada propóleos [23]-[24]-[25]-[26].

Cuadro 2. Valores de concentración mínima fungicida de extractos de propóleos sobre cepas de *Candida* spp. de referencia y aislada de secreciones vaginales de mujeres del estado Carabobo.

	CMF (diluciones)																			
	Alemania					España					Italia					Venezuela				
	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
<i>C. albicans</i>	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+
<i>C. krusei</i>	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+
<i>C. guilliermondii</i>	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+
<i>C. tropicalis</i>	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+

Fuente: Pruebas fungistáticas realizadas por el investigador.

-: inhibición del crecimiento $\leq 90\%$; +: inhibición del crecimiento $>90\%$.

1/2: concentración extracto etanólico de propóleos al 30%; 1/4: concentración extracto etanólico de propóleos al 15%; 1/8: concentración extracto etanólico de propóleos al 37,5%; 1/16: concentración extracto etanólico de propóleos al 3,75%; 1/32: concentración extracto etanólico de propóleos al 1,87%.

En este sentido, en Europa estudios con propóleos y su efecto sobre la inhibición del crecimiento de hongos del tipo Complejo *C. albicans* revelan, por ejemplo, que propóleos de Francia son más efectivos que los de Alemania y Austria. Por otro lado, la actividad fungicida de los extractos etanólicos de propóleos para todas las especies de *Candida* aquí reportadas se ubica entre 3,12 y 12,5 mg/mL, bastante por encima de lo hallado en otras investigaciones, con rangos que se desplazan de 0,55 a 7 mg/mL, igualmente se evidencian diferencias con otros reportes en cuanto a la sensibilidad que esgrimen las especies de *Candida* spp. al extracto de propóleos, toda vez que en este trabajo las especies más sensibles fueron *C. krusei* y *C. guilliermondii*, seguida de *C. albicans* y finalmente *C. tropicalis*, mientras que, *C. albicans* resulto la más sensible al efecto inhibitorio del propóleos en otros estudios, diferencia atribuible al riesgo incrementado de alteración en la concentración de los compuesto químicos que puede describirse con los propóleos de origen comercial [1]-[3]-[12]-[27]-[28]-[29].

Independientemente de las concentraciones descritas en este y otros reportes se comprueba la propiedad antifúngica del propóleos que resulta de especial importancia por ser una opción terapéutica económica y poco toxica, respecto a los antimicóticos tradicionales, interés que se ve favorecido por la inclinación del ser humano hacia el aprovechamiento de productos naturales para afrontar sus problemas de salud, particularmente porque estos extractos etanólicos de propóleos han resultado ser tan efectivos como la nistatina e incluso superan a otros antifúngicos como clotrimazol, econozol y fluconazol en el abordaje terapéutico de candidiosis vaginal y oral de portadores de HIV en países latinoamericanos como Argentina, Brasil, Cuba, México y El Salvador, por tanto resulta oportuna su aplicación como antimicótico en pacientes con déficit nutricionales y otros enfermedades debilitantes que con frecuencia afecta a la población económicamente más vulnerable de países en vía de desarrollo [1]-[3]-[30]-[31]-[32]-[33]-[34]-[35]-[36]-[37]-[38]-[39].

Conclusiones

Los extractos etanólicos de propóleos tienen importantes efectos fungistáticos y fungicidas sobre las especies *C. albicans*, *C. krusei*, *C. guilliermondii* y *C. tropicalis*; la *C. tropicalis* es la especie más resistente a la acción biológica del propóleos y *C. krusei* y *C. guilliermondii* las más sensibles; los extractos etanólicos de propóleos de Alemania e Italia son los más efectivos contra las especies de *Candida spp.* aisladas de pacientes venezolanas; la información generada es valiosa y refuerza la escasa data que sobre este aspecto se tiene de Venezuela; además se requiere de estudios que incluyan mayor número de cepas por especie y de extractos etanólicos de propóleos procesados por los investigadores; finalmente que las investigaciones deben dirigirse hacia la identificación de los compuestos del propóleos responsables de la actividad biológica y su mecanismo de acción debido a los múltiples beneficios y propiedades medicinales que se le atribuye, más de 20, y particularmente porque se sabe son más asimilables que los antimicóticos convencionales y mejoran la reacción inmunológica del organismo, convirtiéndolos en excelentes candidatos para el tratamiento de la micosis en humanos.

Referencias

- [1] M. Quintero-Mora, A. Londoño-Orozco, F. Hernández-Hernández, P. Manzano-Gayosso, R. López-Martínez, C. Soto-Zarate, L. Carrillo-Miranda, G. Penieres-Carrillo, C. García-Tovar, and T. Cruz-Sánchez, "Efecto de extractos de propóleos mexicanos de *Apis mellifera* sobre el crecimiento *in vitro* de *Candida albicans*," *Rev Iberoam Micol*, vol. 25, pp. 22-26, 2008.
- [2] S. Falcão, N. Vale, P. Cos, P. Gomes, C. Freire, L. Maes, and M. Vilas-Boas, "In Vitro Evaluation of Portuguese Propolis and Floral Sources for Antiprotozoal, Antibacterial and Antifungal Activity," *Phytother Res*, vol. 28, no. 3, pp. 437-443, 2014.
- [3] A. Hegazi, F. Abd El Hady, and F. Abd Allah, "Chemical composition and antimicrobial activity of European propolis," *Z Naturforsch [C]*, vol. 55, no. 1-2, pp. 70-75, 2000.
- [4] J. Sforcin, A. Fernandes Jr, C. Lopes, V. Bankova, and S. Funari, "Seasonal effect on Brazil propolis antibacterial activity," *J Ethnopharmacol*, vol. 73, pp. 243-249, 2000.
- [5] M. Marcucci, F. Ferreres, C. García-Viguera, V. Bnkova, S. de Castro, and A. Dantas, "Phenolic compounds from Brazilian propolis with pharmacological activities," *J Ethnopharmacol*, vol. 74, no. 2, pp. 105-112, 2001.
- [6] V. Bankova, M. Popova, S. Bogdanov, and A. Sabatini, "Chemical composition of European propolis: Expected and unexcepted results," *Z Naturforsch [C]*, vol. 57, pp. 530-533, 2002.
- [7] R. Farre, I. Frasquet, and A. Sánchez, "El propolis y la salud". *Ars Pharmaceutica*, vol. 45, no. 1, pp. 21-43, 2004.
- [8] R. Medellín-Pico, B. Correa, and A. Pérez, "Los beneficios del propóleos," *Rev Apitec*, vol. 60, pp. 3-10, 2007.
- [9] A. Manrique, and W. Santana, "Flavonoides, actividad antibacteriana y antioxidante de propóleos de abejas sin aguijón, *Melipona quadrifasciata*, *Melipona compressipes*, *Tetragonisca angustula* y *Nannotrigona sp.* De Brasil y Venezuela," *Zootecnia Trop*, vol. 26, no. 2, pp. 157-166, 2008.
- [10] M. Carbajal, "Antimicrobial effects of calcium hydroxide, chlorhexidine, and propolis on *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*," *J Invest Clin Dent*, vol. 5, no. 3, pp. 194-200, 2014.
- [11] A. Londoño, J. Penieres, C. García, L. Carrillo, M. Quintero, S. García, M. Mendoza, and T. Cruz, "Estudio de la actividad antifúngica de un extracto de propóleos de la abeja *Apis mellifera* proveniente del estado México," *Tecnología en Marcha*, vol. 21, no. 1, pp. 49-55, 2008.
- [12] C. Herrera, "The antifungal of six comercial extracts of chilean propolis on *Candida spp.*," *Cien Inv Agr*, vol. 37, no. 1, pp. 75-84, 2010.
- [13] F. Mayta-Tovalino, S. Sacsquispe, J. Ceccarelli, and J. Alania, "Propóleos peruanos: Una nueva alternativa terapéutica antimicrobiana en Estomatología," *Rev Estomatil Herediana*, vol. 22, no. 1, pp. 50-58, 2012.
- [14] A. Khosravi, H. Shokri, D. Nikaein, P. Mansouri, A. Erfanmanesh, R. Chalangari, and M. Katalin, "Yeasts as important agents of onychomycosis: *in vitro* activity of propolis against yeasts isolated from patients with nail infection," *J Altern Complement Med*, vol. 19, no. 1, pp. 57-52, 2013.

- [15] H. Koo, P. Rosalen, J. Cury, Y. Park, M. Ikegaki, and A. Sattler, "Effect of *Apis mellifera* L. Propolis from two brasilian regions on caries development in desalivated rats," *Caries Research*, vol. 33, pp. 393-400, 1999.
- [16] M. Popova, V. Bankova, S. Spassov, I. Tsvetkova, C. Naydenski, M. Silva, and M. Tsartsarova, "New bioactive chalcones in propolis from El Salvador," *Z Naturforsch [C]*, vol. 56, pp. 593-596, 2001.
- [17] P. Güler, K. Sorkun, and B. Salih, "The effect of some Turkish propolis on the product quantity of *Agaricus bisporus* (Lange.)," *Pak J Bot*, vol. 35, pp. 437-445, 2004.
- [18] K. Salomao, A. Dantas, C. Borba, L. Campos, D. Machado, F. Aquino, and S. de Castro, S. "Chemical composition and microbicidal activity of extracts from brazilian and Bulgarian propolis," *Lett Appl Microbiol*, vol. 38, pp. 87-92, 2004.
- [19] A.Ugur, and T. Arslan, "An in vitro study on antimicrobial activity of propolis from Mugla province of Turkey," *J Med Food*, vol. 7, pp. 90-94, 2004.
- [20] M. Mendoza, "Importancia de la Identificación de Levaduras," *Rev Soc Ven Microbiol*, vol. 25, pp. 13-21, 2005.
- [21] A.Sotero, L. Rodríguez, R. Barroso, N. de Araujo, R. Marinho, S. Abreu, R. Peixoto, and B. de Vasconcelos, "Antifungal activity of propolis against *Candida* species isolated from cases of chronic periodontitis," *Braz Oral Res*, vol. 29, no. 1, pp. 1-6, 2015.
- [22] A.Sawaya, A. Palma, F. Caetano, M. Marcucci, I da Silva Cunha, C. Araujo, and M. Shimizu, "Comparative study of in vitro methods used to analyse the activity of propolis extracts with different compositions against species of *Candida*," *Lett Appl Microbiol*, vol. 35, pp. 203-207, 2002.
- [23] A Espinel-Ingroff, A. Fothergill, J. Peter, M. Rinaldi, and T. Walsh, "Testing conditions for determination of minimum fungicidal concentrations of new and established antifungal agents for *Aspergillus* spp.: NCCLS Collaborative Study," *J Clin Microbiol*, vol. 40, no. 9, pp. 3204-3208, 2002.
- [24] A. Kujumgiev, I. Tsvetkova, Y. Serkedjieva, V. Bankova, R. Christov, and S. Popov, "Antibacterial, antifungal and antiviral activity of propolis of different geographic origin," *J Ethnopharmacol*, vol. 64, pp. 235-240, 1999.
- [25] G. de Souza, L. Pfenning, F. de Moura, M. Salgadam, and J. Takahashi, "Isolation, identification and antimicrobial activity of propolis-associated fungi," *Nat Prod Res*, vol. 27, no.18, pp.1705-1707, 2013.
- [26] H. Zhang, G.Wang, T. Beta, and J. Dong, "Inhibitory properties of aqueous ethanol extracts of propolis on alpha-glucosidase," *Evid Based Complement Alternat Med*, 2015. [Online]. Available: doi: 10.1155/2015/587383, 2015.
- [27] N. Rojas, and S. Lugo, "Efecto antifúngico del propóleos sobre cepas del género *Candida*. Memorias del I Simposio sobre los Efectos del Propóleos en la Salud Humana y Animal," *Varadero, Cuba*, 1998, pp.42-53.
- [28] C. Ota, C. Unterkircher, V. Fantinato, and M. Shimizu, "Antifungal activity of propolis on different species of *Candida*," *Mycoses*, vol. 44, pp. 375-378, 2001.
- [29] J. Bonvehí, and A. Gutiérrez, "The antimicrobial effects of propolis collected in different regions in the Basque Country (Northern Spain)," *World J Microbiol Biotechnol*, vol. 28, no. 4, pp. 1351-1358, 2012.
- [30] M. Pfaller, M. Rinaldi, J. Galgiani, M. Bartlett, B.Body, A. Espinel-Ingroff, R. Fromtling, G. Hall, C. Hughes, F. Odds ,and A. Sugar, "Collaborative investigation of variables in susceptibility testing of yeasts," *Antimicrob Agents Chemother*, vol. 34, pp.1648-1654, 1990.
- [31] L. Tolosa, and E. Cañizares, "Obtención, caracterización y evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos de propóleos de Campeche," *Ars Pharmaceutica*, vol. 43, no. 1-2, pp. 187-204, 2002.
- [32] S. Silici, and S. Kutluca, "Chemical composition and antibacterial activity of propolis colleted by three different races of honeybees in the same region," *J Ethnopharmacol*, vol. 99, pp. 69-73, 2005.
- [33] R. Martins, E. Pereira, S. Lim Jr, M. Senna, R. Mesquina, and V. Santos, "Effect of comercial etanol propolis extract on the in vitro growth of *Candida albicans*," *J Oral Sci*, vol. 44, no. 1, pp. 41-48, 2002.
- [34] G. González, "Avances y perspectivas del propóleos en la salud humana. Ensayo. Memorias de apicultura". Organización Nacional de Apicultures Mazatlán, Sinaloa, 2007.
- [35] H. Shokri, A. Khosravi, and R. Yalfani, "Antifungal efficacy of propolis against fluconazole-resistant *Candida glabrata* isolates obtained from women with recurrent vulvovaginal candidiasis," *Int J Gynaecol Obstet*, vol. 114, no. 2, pp. 158-159, 2011.
- [36] M. Gil, A. Perelli, R. Alvarado, Y. Arias, and E. Blumenthal, "Actividad bacteriostática y bactericida de la tintura de propóleos sobre bacterias enteropatógenas," *Salus*, vol. 16, no 3, pp. 29-37, 2012.
- [37] M. Isla, Y. Dantur, A. Salas, C. Danert, C. Zampini, M. Arias, R. Ordóñez, L. Maldonado, E. Bedascarrasbure, and M. Nieva, "Effect of seasonality on chemical composition and antibacterial and anticandida activities of Argentine propolis. Design of a topical formulation," *Nat Prod Commun*, vol. 7, no. 10, pp.1315-1318, 2012.

- [38] N. Ngatu, T. Saruta, R. Hirota, M. Eitoku, N. Luzitu, B. Muzembo, T. Matsui, and M. Sukanuma, "Brazilian green propolis extracts improve *Tinea pedis* interdigitalis and *Tinea corporis*," *J Altern Complement Med*, vol. 18, no. 1, pp. 8-9, 2012.
- [39] R. Pereira, J. Ribeiro, T. Stivalet, and M. Bruschi, "Preparation and characterization of mucoadhesive thermo-responsive systems containing propolis for the treatment of vulvovaginal candidiasis," *J Pharm Sc*, vol. 102, no. 4, pp. 1222-1234, 2013.

Características demográficas y su influencia en la planeación estratégica del proceso de mejora continua

The influence of demographics on continuous improvement strategic planning

Melissa Brenes-Bastos¹, Johanna Madrigal-Sánchez²,
Henry J. Quesada-Pineda³

Fecha de recepción: 23 de junio de 2016

Fecha de aprobación: 17 de setiembre de 2016

Brenes-Bastos, M; Madrigal-Sánchez, J; Quesada-Pineda, H.
Características demográficas y su influencia en la planeación
estratégica del proceso de mejora continua. *Tecnología en
Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 12-23.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3269

- 1 Email Marketing Account Executive. Experian. San José, Costa Rica Correo electrónico: melibreas@gmail.com.
- 2 Ingeniera en Producción Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Producción Industrial, Costa Rica. Correo electrónico: jmadrigal@itcr.ac.cr.
- 3 Profesor Asociado. Virginia Tech, College of Natural Resources and Environment, Department of Sustainable Biomaterials, Blacksburg, Virginia. United States. Correo electrónico: quesada@vt.edu.



Palabras clave

Innovación; Proceso de Mejora Continua; Gestión de la Planeación Estratégica; Industria de Manufactura; Características Demográficas.

Resumen

El proceso de crear o modificar un producto y su introducción en el mercado hace referencia al concepto de innovación, dicho proceso es difícil de implementar y mantener en las organizaciones producto de las percepciones de los colaboradores. El proceso de mejora continua ayuda a la innovación, este se ha comprobado que en muchos casos no es sostenible a lo largo del tiempo en las empresas. La presente investigación tiene como meta principal describir características demográficas y su relación con factores del proceso de mejora continua en empresas seleccionadas. Primordialmente para que este estudio sirva de referencia y soporte a otras empresas que usan metodologías de mejora continua; aquellas que desean implementarlo y también para la academia. Los resultados se basaron en un cuestionario autoadministrado a 150 colaboradores dentro de cinco empresas de distintos sectores industriales. Se concluyó que algunas características demográficas influyen directamente en las perspectivas de los colaboradores sobre el proceso de mejora continua en distintas organizaciones. La limitación más importante del estudio se centra en que los resultados no pueden ser generalizados a la población ya que es un caso de estudio, sin embargo estos sirven de referencia para la industria así mismo como para la academia.

Keywords

Innovation; Continuous Improvement; Strategic Management; Manufacturing Industry; Demographics.

Abstract

The process of innovate by creating or modifying a product, and how it is introduced into the market is difficult to implement due to the perceptions of the staff involved. The continuous improvement process helps to make innovation sustainable. Current research aims to describe the relationship between demographics and the continuous improvement process. The work done will serve as a reference for industries implementing or planning to implement continuous improvement, and to academia as well. The results shown were collected by application of a self-administered survey to 150 works from 5 different companies. Resulting data demonstrated that some demographic characteristics have an effect on how workers perceive the continuous improvement process inside organizations. The main limitation of the study is that the methodology of case study selected makes conclusions only on the participating cases. Thus, more research to validate data in other companies will be required.

Introducción

La innovación se puede definir como el proceso de crear o modificar un producto y su introducción en el mercado. Dicho proceso es difícil de implementar y mantener en las organizaciones debido a muchos factores, entre ellos la percepción de los colaboradores. Uno de los procesos que ayuda a la innovación, es el proceso de mejora continua el cual se ha comprobado que no es sostenible a lo largo del tiempo en muchas empresas [1]. Otros estudios que evalúan el éxito del proceso de mejora continua muestran evidencia de una cultura de

aprendizaje débil que conduce a luchas durante el cambio organizacional en la implementación del proceso de mejora continua [2] [4]. El hecho que este proceso se puede mantener a lo largo del tiempo se convierte en uno de los retos más importantes con respecto a la innovación en las organizaciones.

El objetivo principal de este artículo consiste en analizar características demográficas de los colaboradores de empresas seleccionadas y su influencia en factores de la planeación estratégica del proceso de mejora continua. Se incluye dentro de estos factores: el desarrollo e implementación de la estrategia, visión y misión y el desempeño de medición y despliegue, que afectan el proceso de mejora continua y su sostenibilidad a lo largo del tiempo. Específicamente el estudio pretende resolver dos preguntas de investigación 1) ¿Influyen las características demográficas en los factores estratégicos del proceso de mejora continua? y 2) ¿Difieren la influencia de las características demográficas en los factores del proceso de mejora continua dependiendo de su locación geográfica (CR vs. US)? Así mismo, pretende dar a conocer la percepción que tienen los colaboradores o empleados sobre el proceso de mejora continua, lo que ayudara a conocer los vacíos que tiene el proceso en las organizaciones consultadas y así poder corregirlos para lograr que el proceso sea sostenible.

Revisión de Literatura

Innovación es “algo nuevo que aspira a cambiar la forma de una organización (o parte de una organización) y la forma en la que ofrece servicios al público” [5]. Una de las definiciones más popularmente aceptada es: “innovación es la introducción de un producto o servicio nuevo, o significativamente mejorado, de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo” [6]. El querer conocer el resultado futuro, obtener una mejora o simple y sencillamente querer descubrir algo nuevo se convierte en la inspiración para que se dé la innovación.

La importancia de la innovación para las empresas está directamente relacionada con el éxito que se puede alcanzar en dicha organización, producto de la innovación en productos, servicios, procesos, etc. Con ese éxito se logra una ventaja competitiva con respecto a los competidores en el mismo sector [7]. Es importante considerar aspectos como la velocidad en el cambio tecnológico, procesos, productos y su punto de vista económico, ya que según Mulet [8] las empresas innovan para conseguir dos solidificar dos estrategias: (1) ofrecer mejores productos, procesos y servicios y (2) producirlos con los menores recursos. La consecución de estas dos estrategias genera un valor agregado al producto o servicio que traerá mayores ganancias, el cual justifica que la innovación sea un concepto importante para la economía de las empresas.

La innovación puede ser clasificada en 4 distintas categorías según el Manual Oslo [6], la primera categoría es innovación de producto la cual consta de la introducción de un nuevo o mejorado bien o servicio en cuanto a características físicas, características de uso y otras características funcionales. La segunda categoría es innovación de proceso que se basa en la creación o mejora de un proceso de producción o distribución, tanto en técnicas, materiales, programas o el proceso en sí. La tercera es innovación de mercadotecnia que se compone de la aplicación de un nuevo método de comercialización ya sea en el aspecto físico del producto, en la plaza, la promoción o el precio. La cuarta y última es innovación organizacional que es la introducción de un nuevo método organizativo, tanto en prácticas internas de la organización o en relaciones exteriores, esta categoría de innovación busca mejorar los resultados de una empresa minimizando los costos de la administración.

De acuerdo con Schramm et al. [7] la innovación también se puede definir como *“el diseño, invención, desarrollo y/o implementación de productos nuevos o alterados, servicios, procesos, sistemas, estructuras de organización, o los modelos de negocio con el fin de crear nuevo valor para los clientes de una manera que mejora la rentabilidad financiera de la empresa”*. En esencia, se puede decir que la innovación es uno de los principales focos estratégicos dentro de las empresas de hoy. La innovación es fácilmente identificada como una herramienta para la sostenibilidad a largo plazo para empresas de cualquier tamaño [9].

La innovación es parte también del proceso de planeación estrategia, en donde se busca tener un marco de referencia para situaciones imprevistas en el futuro. Thompson, Gamble y Strickland [10] mencionan que *“la estrategia de la compañía se compone de los movimientos competitivos y enfoques de negocios que emplean los administradores para hacer crecer el negocio la participación de una posición en el mercado, atraer y complacer a los clientes competir con éxito la conducta operacional y lograr los objetivos específicos”*. El propósito de desarrollar una estrategia de innovación para la empresa es que esta ayude a la adaptación a situaciones imprevistas del entorno y de la empresa en el futuro.

Para efectos de esta investigación la estrategia empresarial de innovación en lo referente a mejora continua está conformada por los siguientes factores:

Misión y visión

Según Thompson, Gamble y Strickland [10] *“la principal preocupación de la visión estratégica es ‘hacia dónde vamos y por qué’, una declaración de misión se ocupa generalmente del alcance de la empresa en el presente ‘quienes somos, qué hacemos y por qué estamos aquí’, la misión de una empresa se define por la necesidad del comprador, la satisfacción de los grupos y segmentos y los recursos y tecnologías que está desplegando en tratar de complacer a sus clientes”*.

Desarrollo de la estrategia

Producto del entorno tan cambiante de las empresas, hoy en día se vuelve una necesidad para los directivos de la organización el diagnosticar, crear y difundir una buena estrategia empresarial, que responda oportunamente los cambios que se dan en el entorno. Thompson, Gamble y Strickland [10] mencionan que: *“los creadores de la estrategia en la empresa tienen que poner atención a las alertas tempranas de los cambios en el futuro y estar dispuestos a experimentar diferentes maneras de establecer una posición de mercado en el futuro”*.

Implementación de la estrategia

El gestionar la implementación y ejecución de la estrategia, es *“una operación orientada a hacer que cosas las cosas sucedan”*. Esta actividad va dirigida a dar forma a la realización de actividades propias del negocio [10]. Hill y Jones [11] mencionan que la implementación exitosa del modelo de negocio y la estrategia de una compañía depende del diseño organizacional. Así mismo los autores mencionan que el éxito del modelo en el momento de la implementación se debe combinar la estructura, la cultura y la estructura de la organización en forma que estas se relacionen de forma positiva, la cual cree competencias distintivas [11]

Desempeño de medición y despliegue

Según Graham [12], la importancia de la medición de los resultados corresponde al uso final en la toma de decisiones de las organizaciones. Además, Zairi y Sinclair [13] afirman que la medición del desempeño y el posterior despliegue de estos resultados es una herramienta vital en el éxito del proceso de mejora continua. Además esta información permite la gestión y

participación del personal en la identificación de las necesidades de mejoras y de manera que se promueva una mejor comprensión de la situación actual del proceso de mejora continua. La medición del rendimiento de los procesos de mejora continua y el despliegue de los resultados es una función clave ya que todos los directivos y colaboradores deben estar informados de las áreas de mejora para evitar las quejas de los clientes y también para evitar la reincidencia [14].

Lynch y Werner [15], mencionan que una organización con una ventaja competitiva es la que ha fundado la capacidad de entregar constantemente su promesa a los clientes y que ha establecido una cultura de mejora continua. Así mismo, el autor menciona que el compromiso de calidad define la calidad a fin de cumplir y mejorar con la promesa de rendimiento de la organización. La mejora continua es un proceso que se deriva del proceso de innovación en las organizaciones, por lo tanto es de importancia analizar el proceso de mejora continua para así alcanzar la innovación en la organización. Según Suarez [16], la sostenibilidad de la mejora continua implica mantener el nivel de mejora obtenido, después de que se ha aplicado sistemáticamente una metodología de mejora. Por lo tanto, la sostenibilidad del proceso de mejora continua se centra en prolongar la mejora ya implantada en la organización, y no permitir que esta baje el nivel ya alcanzado por el proceso.

Para ayudar a responder las preguntas formuladas en este trabajo se definió un modelo de investigación para evaluar características demográficas contra factores del proceso estratégico de mejora continua. En la figura 1 se muestra el modelo de investigación.

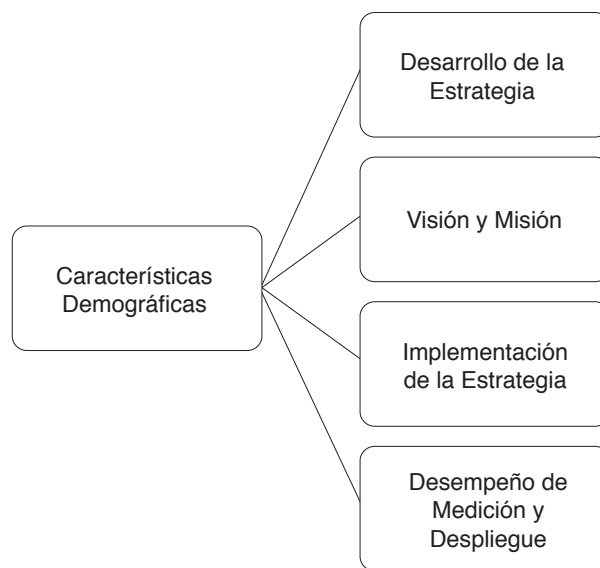


Figura 1. Modelo de Investigación.

La misión y visión corresponden a aspectos fundamentales de las empresas necesarios para desarrollar una estrategia de negocios apropiada y la realización de sus actividades diarias. Esto debido a que tanto la visión como la misión se convierten en la guía básica de lo que es la compañía y lo que espera ser. Thompson y Strickland [17], mencionan que lo que una compañía trata de hacer en la actualidad por sus clientes a menudo se califica como la misión de la compañía. Una exposición de la misma a menudo es útil para ponderar el negocio en el cual se encuentra la compañía y las necesidades de los clientes a quienes trata de servir. Por otro lado, este mismo autor menciona que la visión es una exposición clara que indica hacia donde

se dirige la empresa a largo plazo y en que se deberá convertir, tomando en cuenta el impacto de las nuevas tecnologías, de las necesidades y expectativas cambiantes de los clientes, de la aparición de nuevas condiciones del mercado.

El desarrollo de una estrategia apropiada para la organización, se vuelve una necesidad indispensable para el buen funcionamiento de esta. La gestión y el desarrollo de la estrategia se pueden definir según Dean y Bowen [18], como el proceso de establecer con claridad los objetivos estratégicos y la comunicación de ellos a través de la organización. En síntesis, se podría decir que, el desarrollo de la estrategia de mejora continua consiste en un proceso de cambio, en el cual se crean objetivos estratégicos sobre algún proceso, situación o actividad para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable a una dirección específica de la organización. Una vez formulada la estrategia de la organización, es de vital importancia realizar una implementación adecuada de la estrategia para que se logre los objetivos propuestos por la empresa y para la organización. Además es importante tener un seguimiento de los resultados obtenidos y lograr determinar por medio de un análisis si esta fue exitosa o no. En cuanto al desempeño de los procesos de mejora continua, es importante tener claro los indicadores de dicho proceso, estos deben ser medidos de manera sistemática, actualizada y con datos precisos y concisos, así mismo estos necesitan ser fáciles de entender para la organización en general. La medición del desempeño en general utiliza métricas que incluyen datos pasados y presentes, para así lograr planificar las acciones futuras de la mejora continúa en la empresa.

Los estudios encontrados en la literatura se han enfocado en detectar las características demográficas en diferentes procesos a lo largo de la organización [19] [20]. Sin embargo no se encontraron estudios en donde se analizaran características demográficas de los empleados y su relación con el proceso estratégico de mejora continua. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo el medir la influencia que pueden tener las características demográficas en el proceso estratégico de mejora continua. La hipótesis planteada es:

H_0 : Características demográficas de empleados de empresas seleccionadas influyen en los factores del proceso estratégico de mejora continua.

Aspectos Metodológicos

Los resultados de esta investigación fueron obtenidos por medio de un cuestionario previamente validado y auto administrado a 150 trabajadores distribuidos en cinco empresas participantes en los sectores de dispositivos médicos, industria automotriz, industria química, productos forestales y administración de servicios médicos. El cuestionario está compuesto por una serie de preguntas tipo Likert con la siguiente escala de valores. El cuestionario estaba pre-codificado, compuesto por preguntas cerradas (Likert) y semi-abiertas. Para la tabulación de los datos, se utilizó la herramienta Excel, el cual consistía en una hoja programada y diseñada de tal forma que se fueran registrando las 25 preguntas en las que se dividía el cuestionario. Cada empresa distribuyó el cuestionario en sobres de manila, después de la aplicación se recogían los cuestionarios en el mismo sobre.

Los datos obtenidos de los cuestionarios se analizaron utilizando diferentes técnicas estadísticas. El coeficiente α de Cronbach se utilizó para medir la confiabilidad de las preguntas individuales para cada uno de los cuatro factores. Si la confiabilidad es alta (mayor a 0,7), se procede a crear una sub-escala Likert utilizando la moda como medida de tendencia central ya que los valores son ordinales. Una vez que se ha creado una sólo variable por cada factor, se procede a utilizar regresión ordinal logística para tratar de responder las preguntas planteadas. Este tipo de regresión es una prueba no paramétrica que utiliza una variable de respuesta tipo ordinal. Todos los análisis estadísticos fueron procesados con ayuda del software estadístico JMP Pro 11.

Las características demográficas analizadas fueron; la función actual del colaborador dentro de la organización, el área de trabajo en la que se encuentra y el rango de tiempo que ha trabajado en la empresa. En la figura 2 se puede ver las características demográficas analizadas.

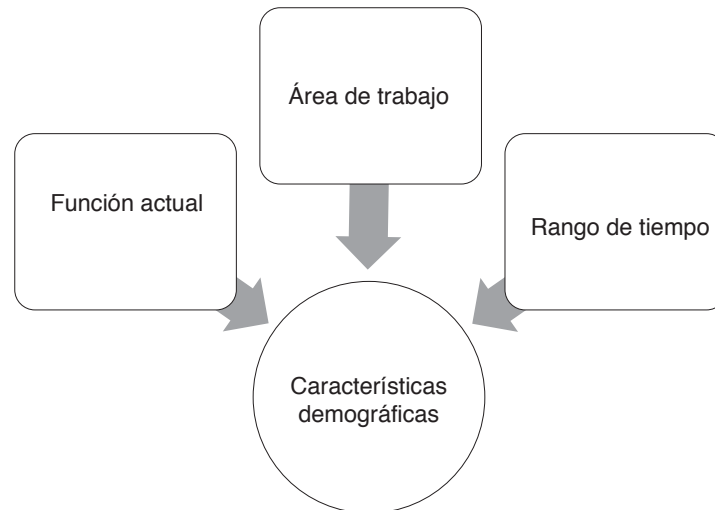


Figura 2. Características demográficas analizadas.

Función actual del colaborador (Dem 1)= Se preguntó a los encuestados indicar su función actual dentro de la organización. Las categorías a escoger fueron; Alta gerencia, Gerencia, Supervisor, Personal Asesor, Operacional y Otros.

Área de trabajo actual (Dem 2)= Se indagó a los entrevistados sobre el áreas o proceso actual donde se desempeña en la organización. Se definieron las siguientes áreas o procesos: Dirección, Manufactura/Producción, Finanzas/Contabilidad, Ingeniería, Recursos Humanos, Mantenimiento/Instalaciones, Gestión de Proyectos, Logística, Tecnología de Información, Servicio al Cliente y Otros.

Rango de tiempo (Dem 3)= Se definieron tres rangos de tiempo los cuales fueron; Menos de 1 año, Más de 1 año pero menos de 5 años y 5 años o más. Cada entrevistado debía seleccionar uno de estos.

La selección de las empresas estudiadas dependió de varios factores a saber.

- Las empresas debían contener un programa de mejora continua en sus instalaciones. Este programa debía tener como mínimo un año de vigencia. Con este lineamiento se busca la eliminación de la curva de aprendizaje en la organización y permitir que la organización tenga un conocimiento bastante maduro de las iniciativas de mejora continua.
- Las empresas participantes debían fabricar productos de algún tipo (manufactura). Esto para asegurar que los enfoques, procesos y medidas de rendimiento sean similares. Se utilizó una empresa en servicios como control y para comparaciones entre servicios y manufactura.
- La empresa debía estar dispuesta a participar en el estudio, además de intercambiar información útil para lograr cumplir con los objetivos de la información.

El muestreo utilizado para aplicar el cuestionario a los empleados de cada empresa participante fue por medio del método a conveniencia. Creswell (2008) define la técnica de muestreo por

conveniencia como un procedimiento en donde se selecciona directamente a los participantes ya que estos están disponibles y dispuestos a participar en el estudio.

El cuadro 1 muestra el detalle y aspectos demográficos de las empresas donde se aplicó la investigación.

Cuadro 1. Características demográficas de empresas participantes.

Producto o Servicio	Sector Industrial	Locación	Experiencia en MC
Dispositivos Médicos	Médicos	Costa Rica	Cerca de 3 años
Sustancias Químicas	Químicos	Costa Rica	Cerca de 8 años
Gabinetes de madera	Casa	Estados Unidos	Más de 10 años
Fabricación de fibras	Automotriz	Estados Unidos	Cerca de 2 años
Adm. de Hospitales	Adm. Serv. Salud	Estados Unidos	Cerca de 5 años

Discusión y Resultados

Los resultados obtenidos indican que las características demográficas parecen tener influencia en algunos de los factores de la planeación estrategia dentro de las empresas entrevistadas. Así mismo existen otros factores que no se ven influenciados dependiendo de la industria en la que se encuentre. Los resultados del análisis Cronbach's α muestran que las preguntas o ítems incluidas en cada uno de los factores (cinco en desarrollo de la estrategia, siete en implementación de la estrategia, cuatro en visión y misión y seis en desempeño de medición y despliegue) son válidos y tienen confiabilidad entre sí. El cuadro 2 muestra los valores del coeficiente de α de Cronbach para cada factor. Como se muestra en el cuadro 2 los valores de α son mayores a 0,7 (valor de corte) en cada factor lo certifica que las preguntas por factor son confiables y pueden ser utilizados para crear una sub escala tipo Likert. Esta sub escala se crea utilizando la moda para cada pregunta o ítem.

Cuadro 2. Valores de α para el análisis de Cronbach's α .

Variable	Numero de preguntas	Cronbach's a
Desarrollo de la estrategia	5	0.8737
Implementación de la estrategia	7	0.8996
Visión y Misión	4	0.8616
Desempeño de Medición y Despliegue	6	0.9158

Los resultados del análisis de regresión ordinal logística (factores demográficos vs factores estratégicos del proceso de mejora continua) se muestran en el cuadro 3. Se utiliza un valor de significancia de 0.05 para todos los casos. Aquellos resultados en donde el valor p ($p < 0.05$) es significativo indica que existe una influencia o relación entre las características demográficas y el factor del proceso estratégico de mejora continua.

Cuadro 3. Valores de la Regresión Ordinal Logística.

Variable	Empresa	Valor p	Variable independiente **	
Desarrollo de la estrategia	Dispositivos Médicos	0.1537		
	Industria Automotriz	0.5989		
	Industria Química	0.3125		
	Productos Forestales	0.0143*		
	Administración Servicios Hospitalarios	0.0290*	Dem 2	0.0240*
Implementación de la estrategia	Dispositivos Médicos	0.3783		
	Industria Automotriz	0.8643		
	Industria Química	0.8977		
	Productos Forestales	0.3233		
	Administración Servicios Hospitalarios	0.3038		
Misión y Visión	Dispositivos Médicos	0.0310*	Dem 3	0.0097*
	Industria Automotriz	0.3832		
	Industria Química	0.8635		
	Productos Forestales	0.2706		
	Administración Servicios Hospitalarios	0.0234*	Dem 1	0.0496*
			Dem 2	0.0070*
Desempeño de Medición y Despliegue	Dispositivos Médicos	0.5926		
	Industria Automotriz	0.1811	Dem 1	0.0323*
	Industria Química	0.9924		
	Productos Forestales	0.8147		
	Administración Servicios Hospitalarios	0.4016		

**Variable independiente: Dem 1; función actual, Dem 2; áreas de trabajo, Dem 3; rango de tiempo.

Los resultados del cuadro 3 permiten saber si las características demográficas influyen en los factores del proceso de planeación estratégica en la mejora continua (pregunta 1). Con respecto a la variable *desarrollo de la estrategia* la empresa de productos forestales y la de administración de servicios hospitalarios se ven influidos por la característica demográfica 2 (área de trabajo actual). Sobre la variable *implementación de la estrategia* ninguna empresa

se ve influenciada por alguna de las características demográficas. Los resultados indican que la variable *misión y visión la empresa* está influenciada en la empresa de dispositivos médicos por la categoría demográfica 3 (rango de tiempo). En la misma variable, la empresa de administración de servicios hospitalarios se ve influenciada por las características demográficas 1 y 2 (función actual y área de trabajo actualmente). Por último los resultados indican que la variable *desempeño de medición y despliegue* en la empresa de industria automotriz está influenciada por la función actual en la organización (Dem 1).

Es importante destacar que no solo se analizó la influencia de las características demográfica en los factores por empresas individuales sino que también se agruparon los resultados por localización geográfica (Costa Rica y Estados Unidos). El cuadro 4 muestra los resultados obtenidos basados en valores de p (nivel de significancia de 0.05).

Cuadro 4. Resultados por localización geográfica.

Variable	Locación Geográfica	Valor p	Variable independiente **	
Desarrollo de la estrategia	Costa Rica	0.1620		
	Estados Unidos	0.3262		
Implementación de la estrategia	Costa Rica	0.4290		
	Estados Unidos	0.8334		
Misión y Visión	Costa Rica	0.1683		
	Estados Unidos	0.6908		
Desempeño de Medición y Despliegue	Costa Rica	0.9084		
	Estados Unidos	0.1102	Dem 3	0.0145*

**Variable independiente: Dem 1; función actual, Dem 2; áreas de trabajo, Dem 3; rango de tiempo.

Los resultados mostrados en el cuadro 4 permiten responder a la segunda pregunta de investigación donde se quiere conocer si las características demográficas influyen en los factores del proceso de planeación estratégica en la mejora continua dependiendo de su localización geográfica. Estos resultados indican que tanto en Costa Rica como en Estados Unidos los países no poseen diferencia en la variable desarrollo de la estrategia, implementación de la estrategia y misión y visión. Sin embargo la característica demográfica rango de tiempo (Dem 3) influye en la variable desempeño de medición y despliegue en Estados Unidos.

Para efectos prácticos ambas preguntas de investigación tiene implicaciones en sus resultados. Primero que las empresas participantes pueden saber cuáles son los factores demográficos que más influyen en el proceso estratégico de mejora continua. Así mismo conocen las características demográficas que tienen que estudiar y enfatizar dependiendo de la industria en la que se encuentren. Segundo, el conocimiento de los problemas sobre el proceso de mejora continua que se obtuvo de las empresas entrevistadas ayuda a modificar y reestructurar el proceso en donde este tiende a fallar impactando la sostenibilidad a largo plazo.

Aunque esta investigación no puede ser generalizada a la población de empresas que utilizan el proceso de mejora continua, estos resultados pueden ser utilizados como punto de referencia

para futuras inspecciones internas en la organización, así mismo para conocer cuales características se les tiene que prestar más atención a la hora de analizar el proceso. Además estos resultados pueden ser utilizados como ejemplo de evaluación para el proceso de mejora continua en cualquier empresa.

Conclusiones

Los principales hallazgos de la investigación se pueden resumir a continuación:

1. En dos de las cinco empresas estudiadas (Industria Química y Productos Forestales) se encontró evidencia que las características demográficas (Dem1, Dem2, Dem3) no influyen en el proceso estratégico de mejora continua de la organización.
2. Implementación de la estrategia es la única variable estudiada en donde no se encontró evidencia estadística sobre la influencia de alguna característica demográfica. Este resultado aplica para todas las empresas del caso de estudio.
3. Los resultados indican que sólo para la variable Misión y Visión hay influencia de las tres características demográficas (Dem 1, Dem 2, Dem 3) aunque no por igual en empresas distintas.
4. Con respecto a la locación geográfica analizada en este estudio, sólo se encontró evidencia que indique que existe diferencia en la influencia de las características demográficas en el proceso de mejora continua en el caso de la variable desempeño de medición y despliegue.
5. Como futura línea de investigación se ha identificado la necesidad de analizar no sólo la influencia de las características demográficas sino también de la antigüedad de las compañías en los procesos de mejora continua y su impacto en la gestión de la innovación.

Referencias

- [1] A. Laraia, P. Moody, and R. Hall, *The kaizen blitz: accelerating breakthroughs in productivity and performance*. New York: The Association for Manufacturing Excellence, 1999.
- [2] J. Farris, E. Van Aken, T. Doolen, and J. Worley, "Learning from less successful Kaizen events: a case study," *Engineering Management Journal*, vol. 20, pp. 10-20, 2008.
- [3] T. Doolen, E. Van Aken, J. Farris, J. Worley, and J. Huwe, "Kaizen events and organizational performance: a field study," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 57, pp. 637-658, 2008.
- [4] E. Van Aken, J. Farris, W. Glover, and G. Letens, "A framework for designing, managing, and improving Kaizen event programs," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 59, pp. 641-667, 2010.
- [5] M. Abramson and I. Littman, *Innovation*. Maryland: Rowman & Littlefield Publishers INC, 2002.
- [6] OECD, *Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. Noruega: OECD, 2006.
- [7] C. Schramm, "Innovation Measurement: Tracking the State of Innovation in the American economy," Secretary of Commerce, Washington, D.C.2008.
- [8] J. Mulet, "La innovación, concepto e importancia económica," COTEC, España2005.
- [9] R. Hoerl and M. Gardner, "Lean Six Sigma, creativity and innovation," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 1, pp. 30-38, 2010.
- [10] A. Thompson, J. Gamble, and A. Strickland, *Strategy: winning in the market place*. New York: McGraw-Hill, 2006.
- [11] C. Hill and G. Jones, *Administración Estratégica*. México: McGraw-Hill, 2009.

- [12] M. Graham, *How to interpret Baldrige criteria for performance excellence*. New York: Productivity Press, 2006.
- [13] M. Zairi and D. Siclair, "Business process re-engineering and process management: a survey of current practice and future trends in integrated management," *Management Decision*, vol. 33, pp. 3-16, 1995.
- [14] M. Kaye and R. Anderson, "Continuous improvement: the ten essential criteria," *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 16, pp. 485-506, 1999.
- [15] R. Lynch and T. Werner, *Continuous Improvement: Teams & Tools*. Atlanta: Qual Team INC, 1992.
- [16] M. Suárez, "La sostenibilidad de la mejora continua en procesos de la administración pública; un estudio en ayuntamientos de España," Doctorado, universidad Ramón LLULL, Barcelona, 2007.
- [17] A. Thompson and A. Strickland, "Administración Estratégica Conceptos y Casos," ed. México: McGraw-Hill, 2001.
- [18] J. Dean and D. Bowen, "management theory and total quality: improving research and practice through theory development," *Academy of Management Review*, vol. 19, pp. 392-418, 1994.
- [19] G. Coleman, E. Van Aken, and J. Shen, "Estimating interrater reliability for a state quality award," *Quality Management Journal*, vol. 9, pp. 39-58, 2002.
- [20] E. Van Aken, G. Letens, G. Coleman, J. Farris, and D. Van Goubergen, "Assesing maturity and effectiveness of enterprise performance measurement systems," *Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 54, pp. 400-418, 2005.

Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre

Relation of soil parameters on the diversity and spatial distribution of free-living nematodes

Elder Eduardo Castilla-Díaz¹, Euriel Millán-Romero², Jaime Mercado-Ordoñez³, Carlos Millán-Páramo⁴

Fecha de recepción: 18 de julio de 2016

Fecha de aprobación: 3 de octubre de 2016

Castilla-Díaz, E; Millán-Romero, E; Mercado-Ordóñez, J; Millán-Páramo, C. Relación de parámetros edáficos sobre la diversidad y distribución espacial de nematodos de vida libre. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 24-34.

10.18845/tm.v30i3.3270

1 Biólogo. Universidad de Sucre, Colombia. Correo electrónico: elder.castilla@unisucre.edu.co.

2 Ing. Agrícola, M.Sc Suelos y Nutrición de Plantas. Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Colombia. Correo electrónico: euriel.millan@unisucre.edu.co.

3 Biólogo, M.Sc: Gestión y Auditoría Ambiental. Universidad de Sucre, Colombia. Correo electrónico: jfmo100@mail.com.

4 Ing. Civil, M.Sc Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Colombia. Correo electrónico: carlos.millan@unisucre.edu.co.



Palabras clave

Textura; humedad; suelo; nematofauna.

Resumen

Se realizó un estudio sobre la diversidad, riqueza, dominancia y equidad de la nematofauna y la relación de estos organismos con algunos parámetros físicos y químicos del suelo en 15 sitios de tres localidades de la Subregión Sabana departamento de Sucre, Colombia. Utilizando la metodología de Jenkins (1964), se extrajeron un total de 4.683 individuos, identificados utilizando claves taxonómicas, en 22 géneros y uno no determinado (*c.f. Dorylaiminae*). Los parámetros edáficos se realizaron utilizando las metodologías del IGAC (2006) y la diversidad se estimó haciendo uso de índices de diversidad; relacionando estos dos factores se observó mayor abundancia de nematodos en suelos de textura franco arenosa, principalmente de los géneros *Criconemella*, *c.f. Dorylaiminae* y *Helycotilenchus*.

La humedad, porosidad, materia orgánica y pH, no presentan relación en cuanto a diversidad de los nematodos identificados. Contrario con la textura del suelo que si influyen en la abundancia y la fracción limo en diversidad. Sin embargo la presencia de los géneros *Criconemella* y *c.f. Dorylaiminae* no están determinados por estos parámetros edáficos.

Keywords

Texture; humidity; soil; soil nematodes.

Abstract

It was been a study on the diversity, richness, dominance and equity of nematofauna and the relation of these organisms with some physical and chemical parameters of soil at 15 sites in three locations in the Sucre department, Colombia. Using the methodology of Jenkins (1964), a total of 4,683 individuals were extracted, identified using taxonomic keys, in 22 genera and one not determined (*c.f. Dorylaimida*). The soil parameters were performed using methodologies IGAC (2006) and diversity was estimated using diversity indices, relating these two factors greater abundance of nematodes was observed in sandy loam soils, mainly of the genera *Criconemella*, *c.f. Dorylaiminae* and *Helycotilenchus*.

The humidity, porosity, organic matter and pH have no relation in terms of the diversity of nematodes identified. Contrary to the soil texture and silt fraction that if they are related to the abundance and diversity. However, the presence of the genera *Criconemella* and *c.f. Dorylaiminae* are not determined by these soil parameters.

Introducción

Se estima que existen aproximadamente un millón de especies de nematodos, de estas la mayoría (500 mil especies) son nematodos edáficos de los que se conoce menos del 3% (14.786 especies), 4.105 fitoparasitos y 10.684 de vida libre [1], las formas de vida libre se alimentan de microorganismos (bacterias y hongos), protozoarios, algas, otros nematodos y microinvertebrados. Estos organismos del suelo viven en grupos o gremios, compuestos por lo general de cinco grupos funcionales principales: Parásitos de plantas, bacterívoro, micófagos,

depredadores y omnívoros. Por tal motivo, los nematodos están bien representados a lo largo de la red trófica del suelo [2].

Para Matlack [3] las poblaciones de nematodos se pueden correlacionar con estados sucesionales de la vegetación, probablemente como respuestas a cambios físicos y químicos ocurridos en el suelo.

En los ecosistemas terrestres se mide su diversidad biológica, para aportar conocimiento a la ecológica de estos organismos y contar con indicadores que nos permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de taxones o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones antrópicas en el ambiente.

La composición de las comunidades de nematodos se considera un buen indicador de las alteraciones como la deforestación, la liberación de agroquímicos y desechos industriales y urbanos al ambiente, el arado y el cultivo del suelo afectan la riqueza de especies, la estructura trófica y el estado de sucesión de la comunidad de nematodos.

Estos cambios están correlacionados con indicadores del funcionamiento del ecosistema, como el aumento de nitrato y fósforo en el suelo, la disminución del carbono y la biomasa microbiana y el cambio en la estructura de las redes tróficas [4]. Sánchez [5] considera a los nematodos del suelo cómo un grupo de invertebrados de elevada importancia ecológica que presentan atributos que les convierte en valiosas herramientas como indicadores biológicos.

El índice de madurez de los suelos de Bongers [6] es una medida del estado sucesional ecológico de una comunidad de suelo, valor que se registra en un rango de 1 a 5, valores por debajo de 3 califican mayor disturbio ambiental y de 3 a 5 corresponde suelos con estabilidad ambiental [7]. Se basa en el principio de que los diferentes taxones tienen diferentes sensibilidades al estrés o perturbación de la secuencia sucesional debido a las diferencias de sus características de su ciclo de vida.

El objetivo del trabajo fue identificar los géneros de nematodos de vida libre presentes en suelos de la subregión Sabana (Sucre – Colombia) y la relación con los parámetros físicos y químicos (materia orgánica, textura, porosidad, pH y humedad) del suelo para calificar dependencia con su hábitat.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló durante el mes de junio de 2014 a diciembre de 2015 en los municipios de Sampúes (9°11'1.00"N; 75°22'54.12"O), Corozal (9°19'4.01"N; 75°17'44.88"O) y San Juan de Betúlia (9°16'32.02"N; 75°14'44.16"O) de la Subregión Sabana, conformada por numerosas sierras y colinas formando ondulaciones que van desde 70 hasta 185 msnm, ubicada en el departamento de Sucre - Colombia (figura 1).

Los sitios se seleccionaron de acuerdo al criterio de sus prácticas agrícolas y pecuarias de manera que los lugares de muestreo fueron las zonas planas de los potreros.

Se extrajeron submuestras de suelo aleatoriamente en forma de zig-zag dentro de un área de 1.0 hectárea (ha). A una profundidad de 0.20 m utilizando un barreno para muestras indisturbadas (sin afectación del perfil del suelo) para obtener 1.0 kg de muestra compuesta de suelo. El kilogramo de suelo se dividió en 0,5 kg para la extracción de nematodos y 0,5 kg para realizar los respectivos análisis de suelo.

La extracción de nematodos se hizo mediante el método combinado de tamizaje y flotación en azúcar de Jenkins [8]. Una vez recuperado los individuos, se sacrificaron en baño María a 90 °C durante 90 segundos.

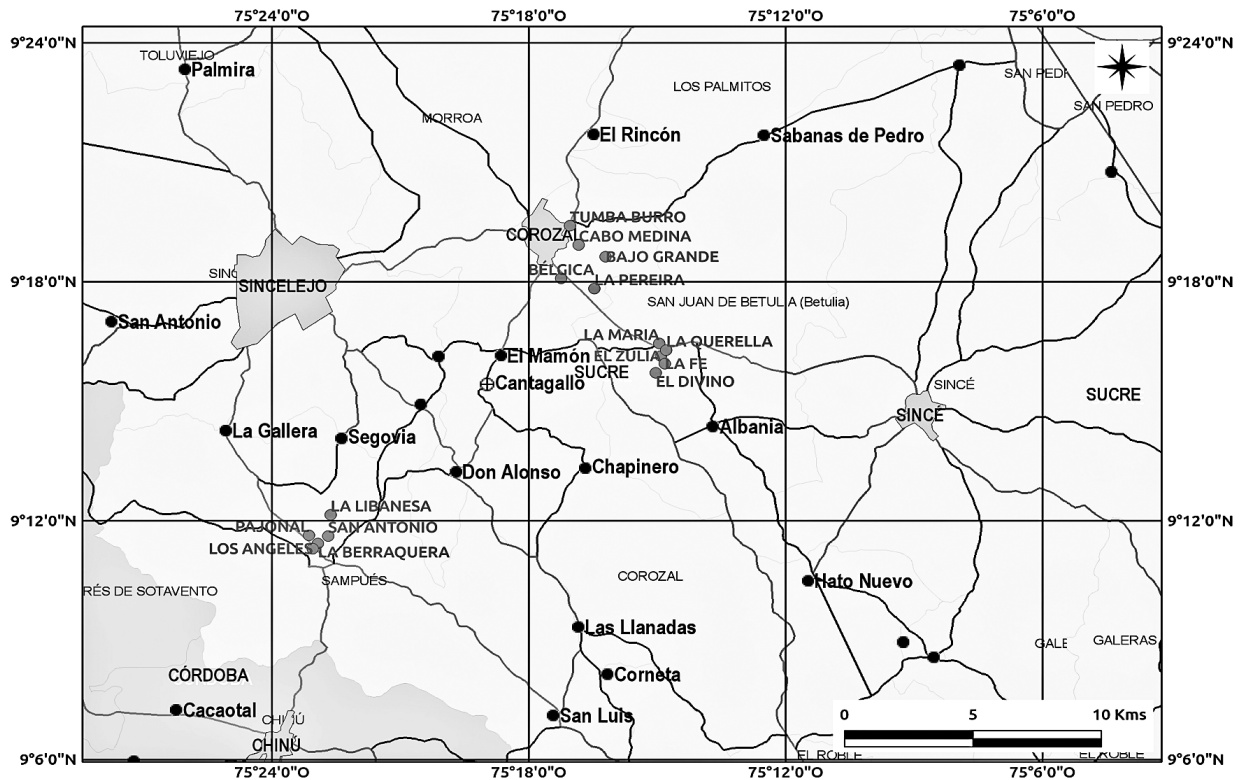


Figura 1. Geo-referencia de los 15 sitios de muestreo de las localidades de Sampués, Corozal y San Juan de Betúlia en la subregión Sabana, Departamento de Sucre, Colombia.

Reposados se fijaron adicionando un volumen igual a la suspensión de nematodos de solución fijadora de 6.0% formalina – 2.0% Glicerina (Solución Golden) dejándose reposar y decantar para reducir su volumen hasta 5.0 mL, fijados indefinidamente hasta proceder con el conteo y montaje en láminas con glicerina por el método de Ryss [9].

La identificación taxonómica se realizó haciendo observaciones morfológicas y morfométricas a X1000 empleando microscopio óptico Labomed (Lx 400) y haciendo uso de claves taxonómicas propuestas por Mai [10], Tarjan [11] y Yeates [12]. Además los nematodos se agruparon en los gremios tróficos bacterívoros, micofágos, fitófagos, omnívoros y predadores propuestos por Yeates [12].

Para la determinación de los parámetros edáficos en el laboratorio se emplearon los siguientes métodos analíticos del laboratorio de suelo [13] (cuadro 1).

A partir de la abundancia de los individuos o factor biótico, se calcularon los índices de diversidad siguientes: diversidad de Shannon-Wiener, riqueza de Margaleff, dominancia de Simpson, equidad de Heip y el índice de madurez de los suelos de Bongers [6]. Con el fin de inferir sobre la diversidad y estructura de las comunidades de nematodos en base a las condiciones físicas y químicas del suelo o factor abiótico de las zonas de muestreo.

Para indagar sobre la “salud de los suelos” a partir del índice de madurez del suelo y su relación con la propiedades del suelo, los tratamientos correspondieron a un factorial 1 x 3 x 5, siendo (1) la Subregión de la Sabana en estudio, (3) las localidades (Sampués, Corozal y San Juan de Betúlia) – Departamento de Sucre, Colombia; (5) representa el número de muestras con tres (3) repeticiones por localidad; se realizó ANOVA para determinar si existe diferencia

estadística en la calidad de los suelos de al menos una de las tres localidades, con 95% de confiabilidad.

Para verificar la hipótesis “si las propiedades del suelo infieren en la presencia de la fauna edáfica benéfica (nematodos)” los resultados se sometieron a análisis de regresión simple entre la variable dependiente (diversidad de nematodos H') y las independientes cuantitativas (parámetros edáficos: textura, humedad, porosidad, materia orgánica y pH), para determinar relación entre estas variables bióticas y abióticas en los sitios de muestreo. Datos procesados en el software Infostat versión 2011 [14].

Cuadro 1. Metodologías utilizadas para la determinación de los parámetros físicos y químicos.

Determinación	Método o fórmula
Textura	Bouyoucos
Densidad aparente	Terrón parafinado
Densidad real	Picnómetro
pH	Potenciométrico 1:1
% Materia orgánica	Carbón orgánico (Walkley. A., Black I.A)
Humedad	$%H = \frac{(W_h + W_r) - (W_s + W_r)}{(W_s + W_r) - W_r}$
Porosidad	$P = 1 - D_a / D_r$

Wh: peso muestra humedad, Wr: peso del recipiente, Ws: peso muestra seca, Da: densidad aparente, Dr: densidad real.

Resultados y discusión

Se identificaron 4683 individuos, clasificados en 22 géneros identificados y uno no identificado (*c.f Dorylaiminae*), agrupados en 15 familias, 9 superfamilias, 6 subórdenes y cuatro órdenes. Los fitófagos predominaron con 11 géneros con 2747 individuos (58.95%), seguido del gremio omnívoro con 1735 individuos (37%) y 201 individuos entre los gremios bacterívoros, micófagos y predadores (4.05%).

Los géneros más abundantes fueron *c.f Dorylaiminae*, *Criconemella* y *Helycotilencus* (cuadro 2), principalmente por el gremio alimenticio al que pertenecen.

El predominio del gremio fitófago está relacionado al cultivo de pasto *colosuana Bothriochloa pertusa (Poacea)* instalados en los sitios de muestreo junto a otras *Fabaceae (Samanea saman, Senna obtusifolia, Senna occidentalis y Mimosa pudica)*.

Los sitios Pajonal en Sampúes, Bajo Grande en Corozal, presentaron suelos de textura franco arcilloso (FrAr) y El Zulia en San Juan de Betúlia, arcillo limoso (ArL), en estos se obtuvieron mayor diversidad (H') y riqueza poblacional de nematodos (cuadro 3), principalmente de los gremios trófico fitófago (*Criconemella, Helicotylenchus*) y omnívoro (*c.f Dorylaiminae*).

Se les atribuye su diversidad a la cobertura vegetal instalada en los suelos. Contrario a suelos franco arenoso y arenoso que presentan mayor abundancia de nematodos (cuadro 4) sitio La María.

Cuadro 2. Número de géneros obtenidos por sitio de muestreo.

Géneros/Sitios	LOCALIDADES																
	Gremio	Sampués					Corozal					San Juan de Betúlia					Subtotal
		La Berraquera	H. Los Angeles	Pajonal	San Antonio	La Libanesa	Bajo Grando	Caño Medina	La Pereira	Belgica	Tumbaburro	La María	El Zulia	La Fé	El Divino	La Querella	
Acrobeles	B	5	0	10	0	23	5	10	0	10	0	30	3	5	10	3	114
Amphidelus	B	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Aphelenchoides	M	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	3	0	0	3	14
Aphelenchus	M	5	0	0	0	0	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	16
Cephalobus	B	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	3	0	0	0	11
Criconema	F	0	5	0	0	13	10	8	3	5	10	23	18	0	0	5	113
Criconemella	F	0	115	30	3	115	68	75	38	18	225	313	120	35	35	133	1543
Discolaimus	O	0	0	0	0	0	5	0	0	208	0	3	0	0	0	0	8
*Dorylaiminae	O	60	70	15	5	43	180	205	25	0	95	138	170	120	228	293	1727
Helicotylenchus	F	15	0	8	0	18	5	18	3	80	108	145	10	0	95	90	518
Ironus	P	0	13	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	13
Monhystera	P	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	0	9
Panagrolaimus	B	0	0	0	3	3	3	0	0	0	3	0	3	0	3	0	21
Paratrophurus	F	0	0	5	0	0	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	13
Paratylenchus	F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	15
Pratylenchus	F	0	5	0	0	5	13	3	0	0	5	3	65	0	5	43	185
Psilenchus	M	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	5	3	8
Rhabditis	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	13
Rotylenchuslus	F	40	0	0	0	0	0	5	0	0	8	8	13	0	3	0	77
Trophurus	F	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
Tylenchoryncus	F	45	0	8	0	0	0	0	3	0	0	0	5	0	0	0	61
Tylenchus	F	5	0	3	18	5	60	3	0	10	0	5	0	0	5	8	122
Xiphinema	F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	5	3	16
Nema. Por muestras		175	208	79	29	225	431	332	78	381	484	671	436	163	407	584	
Nema. Por localidad		716					1706					2261					
Total de individuos																	4683
Total de géneros: 22																	

Nema: nemátodos G: gremio, F: fitófago, B: bacterívoros, M: micófagos, O: omnívoros, P: predadores.
*Subfamilia, no identificado a Género.

Cuadro 3. Índices de diversidad calculados para cada sitio de muestro.

Índices de diversidad	Sitio	LOCALIDADES														
		Sampués					Corozal					San Juan de Betúlia				
		La Berraquera	H. Los Angeles	Pajonal	San Antonio	La Libanesa	Bajo Grando	Caño Medina	La Pereira	Belgica	Tumbaburro	La María	El Zulia	La Fé	El Divino	La Querella
H'		1.57	0.96	1.71	1.07	1.49	1.81	1.20	1.34	1.43	1.22	1.43	1.72	0.74	1.38	1.37
λ		0.25	0.45	0.22	0.44	0.32	0.24	0.44	0.35	0.36	0.37	0.31	0.26	0.59	0.38	0.33
Margalef		1.16	0.57	1.37	0.89	1.29	2.14	1.38	1.38	1.68	0.97	1.38	2.14	0.59	1.83	1.41
Heip		0.63	0.53	0.75	0.64	0.49	0.39	0.29	0.47	0.32	0.40	0.35	0.36	0.36	0.27	0.33

H': Diversidad de Shannon-Wiener, λ : Dominancia de Simpson

Cuadro 4. Parámetros edáficos analizados por sitio de muestro y número de individuos por clase textural de cada sitio.

Parámetros	Sitios	LOCALIDADES														
		Sampués					Corozal					San Juan de Betúlia				
		La Berraquera	H. Los Angeles	Pajonal	San Antonio	La Libanesa	Bajo Grande	Caño Medina	La Pereira	Bélgica	Tumbaburro	La María	El Zulia	La Fé	El Divino	La Querella
Textura		FrAr	ArL	FrAr	ArL	FrAr	FrAr	Ar	FrArL	FrAr	Fr	FrA	ArL	Ar	ArL	FrAr
# Nema.		175	208	79	29	225	431	332	78	381	484	671	436	163	407	584
%M.O		1.96	1.99	0.31	1.21	0.67	1.31	1.23	1.18	3.07	2.27	1.94	2.34	1.29	2.89	1.54
% P.		42.2	40.2	40.5	42	57.2	35.4	45.4	39.9	40.8	47.7	38.2	36.2	42.2	43.6	39.8
% H.		26.2	28.3	21.4	29.7	29.7	15.3	32.3	26.9	17.7	20.3	8.63	23.6	32.3	29.8	16
pH		7.42	6.61	6.56	6.33	6.44	6.45	6.35	6.44	6.43	6.61	6.70	6.72	6.41	6.41	6.8

Nema: Número de nematodos, FrAr: franco arcilloso, ArL: Arcillo limoso, Ar: arcilloso, FrArL: franco arcillo limoso, Fr: franco, FrA: franco arenoso, %M.O: materia orgánica, %P: porosidad, %H: Humedad.

La equidad de los géneros identificados la presentaron los sitios de la localidad de Sampués (cuadro 3), con suelo de textura FrAr y ArL, en esta localidad hubo la presencia de los cinco gremios tróficos: fitófago, omnívoro, bacterívoro, micófagos y depredadores, la equidad de los géneros se relaciona a la materia orgánica (cuadro 5).

Pocos sitios reflejan el mantenimiento de sucesionalidad trófica de estos organismos edáficos para contribuir en la distribución de los nutrientes y minerales del suelo. Para Ferris [15] estos organismos son responsables de un 30% de la mineralización del nitrógeno en el suelo, siendo el principal servicio que presentan en el ecosistema.

El sitio La Fé en San Juan de Betúlia presentó textura de suelo arcilloso; encontrándose los géneros *Acrobeles*, *Criconemella*, *Xiphinema* y *c.f. Dorylaiminae* siendo este último el más dominante, sin embargo la dominancia mantiene estrecha relación con el porcentaje de limo (cuadro 5), por ende se infiere que su dominancia en este sitio se debe a su carácter omnívoro.

Cuadro 5. Matriz de correlación (r) de los índices de diversidad con respecto a los parámetros edáficos.

Índices de Diversidad	Parámetros edáficos						
	H	M.O	Porosidad	pH	Arena	Arcilla	Limo
λ	0.421	0.053	0.209	-0.461	0.210	-0.476	0.656
Margalef	-0.27	0.246	-0.320	-0.031	-0.320	0.084	-0.198
H'	-0.394	-0.021	-0.214	0.304	-0.214	0.367	-0.517
Heip	0.092	-0.544	0.058	0.271	0.058	0.068	-0.173

H: humedad, M.O: de materia orgánica, λ : dominancia de Simpson, H': Diversidad de Shannon-Wiener.

El sitio La María en San Juan de Betúlia con textura franco arenoso (FrA) registro la mayor abundancia de nematodos (cuadro 2), especialmente los géneros *Criconemella* y *Helicotylenchus* (fitófagos). Resultados acorde a los obtenidos por Olabiyi [16] en el suroeste de Nigeria donde la mayor abundancia de los nematodo fitoparásitos o fitófagos se da más en suelos de textura arenosa. Gallardo [17] considera a la textura franca arenosa como la más apta para el ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos.

Trabajos realizados por Jaraba [18] demuestra la importancia de los suelos arenosos en el desarrollo de ciertos géneros específicos (*Meloidogyne incognita* y *Thielaviopsis basicola*) nematodos de importancia económica por que reducen el crecimiento y afecta el rendimiento en plantas de algodón. Luna-Guerrero [19] reporta para suelos de textura franco arenosa, la especie *Mesocriconema xenoplax* es considerada como uno de los principales factores bióticos de predisposición a la 'Muerte Prematura del Duraznero'. Jaraba Navas [20]; de Dios Jaraba [21] encontraron que la mayoría de las poblaciones de *Meloidogyne* se asocian a suelos con contenidos medios y altos de arenas. Chávez-Velazco [22] encontró correlación en un 50% del número de nematodos con respecto a las características físicas del suelo, principalmente con la arena.

Diferentes estudios comprueba la mayor abundancia de nematodos registrados para suelos con tipo de textura franco arenosa, arenosa; lo contrario ocurre en suelos con textura arcillosa, donde su ciclo de vida se ve limitado, en estos el diámetro en la microporosidad es reducido, además su elevada capacidad para retener agua; ocasiona poca aireación, disminución de oxígeno y la reducción en la microporosidad limita el desplazamiento de los nematodos en el suelo.

Suelos con altos contenidos de arcilla o de textura muy fina inhiben el movimiento de los nematodos. Muñoz [23] considera que estas condiciones hacen que los niveles de oxígeno sean más bajos y, en consecuencia, el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles se afecte, además del efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras. Por esto la baja abundancia de nematodos en el sitio La Fé en San Juan de Betúlia (cuadro 2), y baja diversidad (H') de nematodos (cuadro 3); donde la textura de este sitio es arcillosa (cuadro 4).

La abundancia de nematodos está regida por una textura arenosa y por la cubierta vegetal del suelo, que por el contenido de humedad, el sitio La María en San Juan de Betúlia, registro el menor contenido de humedad, sin embargo presentó la mayor abundancia (cuadro 2), y mayor diversidad comparado con los sitios Caño Medina en Corozal y La Fe en San Juan de Betúlia (cuadro 3), los cuales presentaron mayor contenido de humedad (cuadro 4).

El pH registro un rango de 6.33 a 7.42 clasificando suelos ligeramente ácidos y ligeramente alcalinos (cuadro 4). Teniendo en cuenta el rango y lo mencionado por Guzman-Plazola [24] "la variación del pH, de 5.0 hasta 7.6, no tiene efecto sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos" por ende no hay inferencia alguna sobre esta propiedad del suelo frente a la diversidad de nematodos identificados.

La porosidad no está relacionada con la diversidad, riqueza, dominancia y equidad de las comunidades de nematodos (cuadro 5); pero si hay relación entre la composición granulometría del suelo (textura limo) con la diversidad y dominancia de nematodos (cuadro 5). Se considera que los microorganismos edáficos no se verán afectados incluyendo la nematofauna de vida libre cuando la porosidad del suelo supere el 10% [25]. Sin embargo las tres localidades presentaron bajos niveles de porosidad para la realización de actividades agrícolas (cuadro 4).

El contenido de materia orgánica de los suelos osciló de 0.31 a 3.07% Tabla 4, el 73.3% que corresponde a 11 sitios que presentaron bajos niveles, influyendo en la baja diversidad. Sin embargo Guzman-Plazola [24], reportan que en suelos con buen contenido de materia orgánica, el ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos es afectado debido al desarrollo de organismos antagónicos, como bacterias y hongos nematófagos y quitiniformes, así como a la competencia por espacio y alimento de los nematodos de vida libre. Por ende altos niveles de materia orgánica puede convertirse en un factor limitante en la vida de estos organismos en el suelo.

Los índices de madurez para la localidad de San Juan de Betúlia oscilan de 3,15 a 3,74 fueron más alto, demostrando ser suelo menos perturbados comparados con las localidades de Corozal con rango de 3,12 a 3,56 y Sampués con rango de 2,34 a 3,39 para esta última los (I.M) califican suelos progresivamente perturbados reconociéndose como los suelo más afectados de las tres localidades estudiadas. Navas [26] expuso cómo los índices de diversidad clásicos aplicados a las comunidades de nematodos edáficos y los índices de madurez responden a la contaminación del suelo por metales pesados.

El índice de madurez del suelo a diferencia de los estimadores de diversidad, implica aspectos cuantitativos, biológicos y ecológicos de los géneros de nematodos individuales que constituyen a una comunidad, aumentando su confiabilidad, al momento de indagar sobre el estado actual del suelo.

Indicadores más recientes desarrollados para el estudio de las comunidades de nematodos son una extensión de los índices de la red trófica. Las Huellas Metabólicas [27] tienen en cuenta, además de las características del ciclo de vida de cada nematodo, la biomasa de éstos en el suelo estudiado. Esta infieren en la magnitud de la función que cada grupo de nematodos

realiza en el suelo (por ejemplo regulando las poblaciones de hongos y bacterias edáficas o suprimiendo especies plaga).

Al haber sido propuestas recientemente, requieren todavía de comprobación experimental para asentarse como indicadores, pero lo publicado hasta la fecha muestra que la actividad de los nematodos inferida a través de las huellas metabólicas se incrementa significativamente con la incorporación de residuos vegetales en el suelo [28], y que varían significativamente con la calidad del material vegetal incorporado [15].

Sobre la “salud de los suelos” no hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$), de la calidad del suelo de al menos una de las tres localidades.

Conclusiones

Los géneros más abundantes en su orden, fueron *c.f Dorylaiminae*, *Criconemella* y *Helicotylenchus* principalmente por el gremio alimenticio al que pertenecen.

En los suelos que presentaron textura media (FrAr; ArL), se obtuvieron mayor diversidad y riqueza poblacional de nematodos, principalmente de los gremios trófico fitófago (*Criconemella*, *Helicotylenchus*) y omnívoro (*c.f Dorylaiminae*). Contrario a suelos de textura liviana (FrA; A) que presentan mayor abundancia de nematodos. En los suelos de textura pesada (Ar) se encontró el género *c.f. Dorylaiminae* siendo el más dominante en todas las localidades.

Pocos sitios reflejaron el mantenimiento de sucesionalidad trófica de estos organismos edáficos para contribuir en la distribución de los nutrientes y minerales del suelo.

Los suelos estudiados registraron perturbación, se sugiere un buen manejo agropecuario para la recuperación y sustentabilidad en las distintas localidades.

Referencias

- [1] D. Desgarenes, P. Sánchez-Nava, R. Peña-Santiago y G. Carrión, «Nematofauna asociada a la rizosfera de papas (*Solanum tuberosum*) cultivadas en la zona productora del Cofre de Perote, Veracruz, México,» *Revista Mexicana De Biodiversidad*, vol. 80, n° 3, pp. 611-614, 2009.
- [2] F. Morerira, «Manual de biología de suelos tropicales,» Instituto Nacional de Ecología, 2012.
- [3] G. R. Matlack, «Factors determining the distribution of soil nematodes in a commercial forest landscape,» *Forest Ecology And Management*, vol. 146, n° 1, p. 129-143, 2001.
- [4] S. W. Culman, A. Young-Mathews, A. D. Hollander, H. Ferris, S. Sánchez-Moreno, A. T. O’Geen y L. E. Jackson, «Biodiversity is associated with indicators of soil ecosystem functions over a landscape gradient of agricultural intensification,» *Landscape ecology*, vol. 25, n° 9, pp. 1333-1348, 2010.
- [5] S. Sánchez-Moreno y M. Talavera, «Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas,» *Revista Ecosistemas*, vol. 22, n° 1, p. 50-55.
- [6] T. Bongers, «The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition,» *Oecologia*, vol. 83, n° 1, pp. 14-19, 1990.
- [7] A. Hernández, «Nematodos como indicadores ambientales,» 2011.
- [8] W. Jenkins, «A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil,» *Plant Disease Reporter*, vol. 48, n° 9, p. 692, 1964.
- [9] A. Ryss, «Express technique to prepare permanent slides of nematodes,» *Zoosystematica Rossica*, vol. 11, p. 257-260, 2003.
- [10] W. F. Mai, H. H. Lyon y T. H. Kruk, Pictorial key to genera of plant parasitic nematodes, Dept. of Plant Pathology, New York State College of Agriculture, State University of New York, Cornell University, 1968.

- [11] A. Tarjan, E. R. y C. Shih, «Interactive Diagnostic Key to Nematodes,» *J. Water Pollution Cont. Fed.*, vol. 49, pp. 2318-2337, 1977.
- [12] G. W. Yeates, T. Bongers, R. G. M. De Goede, D. W. Freckman y S. S. Georgieva, «Feeding Habits in Soil Nematode Families and Genera - An Outline for Soil Ecologists,» *Journal of Nematology*, vol. 25, n° 3, pp. 315-331, 1993.
- [13] I. G. A. C. (IGAC), Métodos analíticos del laboratorio de suelo, Bogotá, 2006.
- [14] J. A. Di Rienzo, F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo, «InfoStat versión 2011,» 2011.
- [15] H. Ferris, S. Sanchez-Moreno y E. B. Brennan, «Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production,» *Applied Soil Ecology*, vol. 61, pp. 16-25, 2012.
- [16] T. I. Olabiyi, A. O. Olayiwola y G. O. Oyediran, «Influence of soil textures on distribution of phytonematodes in the south western Nigeria,» *World Journal of Agricultural Sciences*, vol. 5, n° 5, p. 557-560, 2009.
- [17] J. Á. M. Gallardo, T. D. Valdés, L. P. Ruvalcaba, R. A. Molar, J. B. V. Torres y J. A. C. Fasio, «Nematodos fitoparásitos y su relación con factores edáficos de papaya en Colima, México,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 61, n° 1, p. 251-257, 2014.
- [18] J. Jaraba, C. S. Rothrock, T. L. Kirkpatrick y K. R. Brye, «Soil Texture Influence on Meloidogyne incognita and Thielaviopsis basicola and Their Interaction on Cotton,» *Plant Disease*, vol. 98, n° 3, pp. 336-343, 2014.
- [19] A. Y. Luna-Guerrero, R. Montes-Belmont, M. F. Talavera-Rubia, H. E. Flores-Moctezuma y L. Bravo-Luna, «Preliminary study of biotic and abiotic factors associated with peach tree death in morelos, México,» *Nematropica*, vol. 41, n° 2, pp. 254-262, 2011.
- [20] J. Jaraba Navas, R. Guzman Plazola y C. C. E, Especies y razas de nematodos agalladores (Meloidogyne spp.) asociados al cultivo de tomate en Morelos, México, Colegio de Postgraduados-Instituto de Fitosanidad, 2001.
- [21] J. de Dios Jaraba, Z. Lozano y M. Espinosa, «Nematodos agalladores asociados al cultivo de papaya (Carica papaya L.) en el departamento de Córdoba, Colombia,» *Agronomía colombiana*, vol. 25, n° 1, p. 124-130, 2007.
- [22] C. Chávez-Velazco y M. & Araya-Vargas, «Correlación entre las características del suelo y los nematodos de las raíces del banano (Musa AAA) en Ecuador,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 20, n° 2, pp. 361-369, 2009.
- [23] N. L. A. Muñoz, «Efecto del tipo de suelo, la concentración de materia orgánica y la incorporación de un hidrogel en la infestación de Meloidogyne hapla Chitwood, 1949,» Tesis doctoral. Universidad Austral de Chile, 2011.
- [24] R. A. Guzman-Plazola, B. Hernández-Flores, F. Franco-Navarro y M. Cadena-Hinojosa, «Nematodos agalladores en La Vega de Metztlán, Hidalgo, México: Identificación, distribución espacial y relación con factores edáficos,» *Nematropica*, vol. 38, n° 1, pp. 47-61, 2008.
- [25] H. Montenegro Gonzalez, D. M. Castro y L. Guerrero, «Propiedades físicas de los suelos,» IGAC, Bogotá, 1990.
- [26] A. Navas, P. Flores-Romero, S. Sánchez-Moreno, J. A. Camargo y E. C. McGawley, «Effects of heavy metal soil pollution on nematode communities after the Aznalcóllar mining spill,» *Nematropica*, vol. 40, n° 1, p. 13-30, 2010.
- [27] H. Ferris, «Contribution of nematodes to the structure and function of the soil food web,» *Journal Of Nematology*, vol. 42, n° 1, pp. 63-67, 2010.
- [28] X. Zhang, Q. Li, A. Zhu, W. Liang, J. Zhang y Y. Steinberger, «Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China,» *Ecological Indicators*, vol. 13, n° 1, p. 75-81, 2012.

Medición del conocimiento adquirido en tecnología de la madera por industriales forestales en Costa Rica

Measuring knowledge acquired in wood technologies by forest industries in Costa Rica

Luis Diego Camacho-Cornejo¹, Cynthia Salas-Garita², Lupita Vargas-Fonseca³, Juan Carlos Valverde-Otárola⁴

Fecha de recepción: 21 de octubre de 2016
Fecha de aprobación: 25 de enero de 2017

Camacho-Cornejo, L.; Salas-Garita, C; Vargas-Fonseca, L; Valverde-Otárola, J. Medición del conocimiento adquirido en tecnología de la madera por industriales forestales en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 35-46.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3271



- 1 Profesor-Investigador. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo Electrónico: dicamacho@itcr.ac.cr.
- 2 Profesora-Investigadora. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo Electrónico: cysalas@itcr.ac.cr.
- 3 Profesora-Investigadora. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo Electrónico: lvargas@itcr.ac.cr.
- 4 Investigador. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo Electrónico: jcvalverde@itcr.ac.cr.

Palabras clave

Aprendizaje; cuantificación de conocimiento; secado madera; preservado madera; normas de calidad.

Resumen

La cuantificación del conocimiento adquirido en individuos de edad adulta, permite no solo definir la efectividad de un sistema de aprendizaje, sino que también abre la posibilidad de definir las fortalezas y debilidades del sistema y analizar mejoras para el aumento de la retención de conocimiento; por lo cual el objetivo de este estudio consistió en cuantificar el conocimiento adquirido en tres temáticas de tecnología de la madera dirigidas a industriales forestales de Costa Rica. Se trabajó con cinco grupos focales de distintas zonas del país, a los cuales se les proporcionó conocimiento en tres temáticas: secado, preservado y normas de calidad en madera, impartidas mediante un sistema de aprendizaje significativo-observacional, evaluando el conocimiento en tres etapas: previo e inmediatamente posterior a la impartición del curso y 30 semanas postcurso. Los resultados mostraron que el sistema empleado fue funcional en el tema de secado, el cual expuso retenciones de conocimiento superiores al 70% con la percepción por parte del grupo de estudio de que el tema se impartió de forma muy funcional y simple; respecto al tema preservado se presentó una retención del 62,9 % y una funcionalidad aceptable del sistema, con la observación de que se debe mejorar la técnica de impartición del conocimiento teórico, factor que el grupo denotó como complicado y que incidió en una retención teórica baja. Finalmente, el tema de la norma de calidad, no mostró una funcionalidad óptima bajo el sistema de aprendizaje aplicado, presentando la menor retención del conocimiento (54,7 %) y una opinión muy dividida del grupo en estudio acerca de su funcionalidad y simplicidad, sugiriendo la necesidad de valorar un cambio de sistemas de aprendizaje o re evaluación del sistema empleado.

Keywords

Learning quantification of knowledge; drying wood; preserved wood; quality standards.

Abstract

Quantification of knowledge acquired in adulthood individuals, can not only define the effectiveness of a learning system, but also opens the possibility of defining the strengths and weaknesses of the system and analyze improvements to increase knowledge retention; so the aim of this study was to quantify the knowledge acquired in three thematic wood technology aimed at forest industry of Costa Rica. We worked with five focus groups in different areas of the country, which were provided knowledge on three themes: dried, preserved and quality standards wood, delivered through a system of significant-observational learning, assessing knowledge in three stages: prior and immediately following the delivery of the course and 30 weeks post-course. The results showed that the system used was functional in the subject drying, which exhibited superior knowledge withholding 70% with the perception by the study group was given the issue very functional and simple; preserved issue regarding retention of 62.9% and an acceptable system functionality, with the observation that should improve the teaching of theoretical knowledge which the group denoted as complicated and influenced a low theoretical retention was presented. Finally, the issue of quality standard, showed optimal functionality with the system applied learning, presenting the slightest knowledge retention (54.7%) and a very divided opinion of the study group functionality and simplicity suggesting the need for values a change or re-learning systems evaluation system used.

Introducción

El aprendizaje es el proceso en el cual un individuo adquiere conocimientos [1]–[3], habilidades [4], [5] y actitudes [1], [4] a partir de enseñanza directa (generada por experiencias personales) o indirecta (transmitida por otro individuo) en el tiempo; la medición del aprendizaje consiste en el desarrollo de herramientas que permitan definir cuantitativa y cualitativamente la cantidad de información que el usuario efectivamente adaptó en su razonamiento [4], [5]. Uno de los aspectos de mayor inferencia en el aprendizaje y su evaluación es la edad [5], [17] al inferir en cambios en la capacidad de asimilar conceptos por parte de un individuo; factores como la receptibilidad neurológica, capacidad de asimilación, conciencia de entendimiento y capacidad de retención [6], [18]. Siendo necesario variar significativamente las técnicas y los sistemas de medición de conocimiento adquirido [19].

En el caso específico de la retención de conocimiento de la etapa adulta comprendida de los 20 a 60 años, estudios desarrollados por Kashiwaba *et al.* [20] con varios grupos étnicos a nivel mundial, han encontrado que uno de los sistemas de aprendizaje que mejor respuesta ha presentado es el significativo-observacional, por la combinación de conceptos teóricos y actividades prácticas que aceleran la capacidad del entendimiento de información y con ello el tiempo de aprendizaje se disminuye y la retención de información en el mediano plazo es elevada; sin embargo, se presentan limitaciones en su valoración cuantitativa, debido a que aspectos como la variabilidad de conocimientos previos de los individuos en conjunto a prejuicios previos y factores exenticos como el estrés, cargas emocionales y limitaciones de tiempo hacen que la evaluación no sea óptima y en muchos casos engañosa, por tanto se deben considerar en la evaluación para que esta pueda minimizar estos efectos en las cuantificación [5]–[8].

En los sistemas de evaluación del conocimiento adquirido como en el sistema significativo-observacional se destaca la evaluación memorística, que se basa en la aplicación periódica de pruebas y consulta de temas o aspectos específicos o procedimientos prácticos, siendo un sistema de control continuo, pero no garantiza la retención de información en el mediano plazo [7]; otro sistema es la evaluación mixta que combina simultáneamente aspectos teóricos y prácticos en la evaluación, permitiendo generar perfiles de aprendizaje amplios y especificar qué áreas o aspectos del individuo han tenido un aprendizaje bajo o ineficiente, la limitación de este sistema es la complejidad de su ejecución [8], recientemente se ha incluido la evaluación humanista que considera una vinculación de evaluaciones de elementos emocionales, que permite ver el grado de relación de la capacidad de síntesis de información con el estado emocional que le genera, con ello desarrollar aprendizajes de forma más placentera, la limitación actual de este sistema, ha sido su complejidad de desarrollo [7], [18].

En el caso específico del aprendizaje y su cuantificación en temáticas forestales, la FAO [21] menciona que es un tema prioritario en esta década, al ser el impacto social que tiene la trasmisión de conocimientos de manejo del recurso forestal un potencial de desarrollo en las comunidades; sin embargo, actualmente, mundial el aprendizaje no ha sido el idóneo, ya que muchas de las técnicas tradicionales de enseñanza implementadas carecen de herramientas reales de cuantificación del aprendizaje, involucrando con ello problemas al definir los elementos de enseñanza que deben ser mejorados, la razón de esto se ha debido a que muchos de los profesionales en ciencias forestales no cuentan con las herramientas adecuadas de aprendizaje o las metodologías implementadas se limitan a la transmisión del conocimiento de una manera más teórica y desconectada con la realidad de la región. Por tanto, se planteó como objetivo del presente estudio cuantificar el conocimiento adquirido en tres temáticas de tecnología de la madera dirigidas a industriales forestales de Costa Rica.

Materiales y métodos

Temáticas desarrolladas y grupo de estudio

El proceso de aprendizaje se desarrolló con tres temas: el secado (definido como el proceso en el cual se extrae el agua de la madera [9]), preservado (proceso en que se aplican químicos para aumentar la durabilidad del material en el tiempo [10]) y norma de calidad de la madera INTE 06-07-01:2011 (Terminología de maderas [22]) y INTE 06-07-02:2014 para Madera aserrada para uso general [23]) en diez especies forestales (*Acacia mangium*, *Alnus acuminata*, *Bombapcosis quinata*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, *Tectona grandis*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia oblonga* y *Vochysia guatemalensis*) utilizadas actualmente en proyectos de reforestación comercial, consideradas en el manejo de bosques naturales y en el desarrollo de productos maderables [24]. En las temáticas se abarcaron aspectos como los tipos de secado y preservado existentes, aplicabilidad de la normativa, sus características, ventajas y desventajas, además, la existencia de normas que los evalúen y como se implementan estas en sistemas productivos.

El proceso de aprendizaje se realizó en cinco regiones del país (Zona Norte, Atlántica, Sur, Valle Central y Guanacaste) y se dirigió a grupos con un promedio de quince participantes, que se caracterizaban por tener edades de 25 a 50 años, de ambos géneros y con formación en ciencias forestales o bien con experiencia en el desarrollo de actividades forestales con fines industriales y comerciales. El proceso de selección de dichos participantes se dio en función a su disposición en participar en todas las actividades del curso y estar ligados en actividades laborales que vincularan los conocimientos de ambos temas.

Proceso de aprendizaje implementado

El proceso de aprendizaje implementado fue del tipo significativo-observacional [20] que consistió en dos fases: la primera la impartición de clases magistrales sobre terminologías y conceptos básicos en los temas de secado y preservado de madera y la segunda fase consistió en el desarrollo de actividades grupales prácticas en las que se aplicaba el proceso de evaluación y operación del secado y preservado de la madera, así como una guía supervisada del control y evaluación de la calidad de la madera.

Evaluación de aprendizaje

Se desarrolló tres fases de evaluación del proceso de aprendizaje, la primera se aplicó previo a la impartición del conocimiento de cada una de las temáticas, la segunda se realizó una vez implementada la lección teórica y práctica de cada tema y finalmente se desarrolló 30 semanas posterior a la finalización el curso; estas evaluaciones se realizaron al mismo grupo de estudio y se utilizó los aspectos mostrados en el cuadro 1, considerando: conocimiento base del usuario, conocimiento teórico y conocimiento práctico.

Análisis estadístico

La caracterización previa del curso se desarrolló a partir de un análisis descriptivo de conocimiento previo, habilidades prácticas de la temática, interés de aprendizaje y percepción de dificultad. Para definir si existía significancia en los resultados se realizó un análisis de varianza de una vía, en el caso de presentar diferencias significativas en los resultados se aplicó la prueba de Tukey. La Curva de conocimiento adquirido cuantifico (CAC) se desarrolló con los datos adquiridos del precurso, postcurso y 30 semanas post curso, se generó a partir de la ecuación 1, en la cual conforme el valor del CAC tienda a 100 la información cuantificable asimilada es mayor.

$$CAC (\%) = \left((VAC_{teórico} + VAC_{práctico}) / 2 \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Donde:

CAC: es el valor porcentual de la Curva de conocimiento adquirido cuantifico

$VAC_{teórico}$: Valores de aprendizaje cuantificado teórico

$VAC_{práctico}$: Valores de aprendizaje cuantificado práctico

Los VAC teóricos y prácticos se generaron a partir de la ecuación 2, que se obtuvo de los estudios previos desarrollados [11]–[13] ,

$$VAC_{t/p} = CP \cdot 0,1 + AA_{t/p} \cdot 0,25 + CRC_{t/p} \cdot 0,15 \quad (2)$$

Donde:

$VAC_{t/p}$ es el valor de aprendizaje cuantificado teórico o práctico.

CP es el conocimiento previo

$AA_{t/p}$ es el aprendizaje adquirido teórico o práctico

$CRC_{t/p}$ es la capacidad de razonamiento crítico (capacidad entendimiento real de lo aprendido) teórico o práctico

El análisis perceptual de los cursos (tanto general como la sección teórica y práctica), se realizó bajo los términos de utilidad (utilidad elevada-utilidad baja) y complejidad (simple-complicado), para lo cual se utilizó un análisis tipo SANN (Analysis/Deployment) a partir del principio de clasificación de VAC teórico y práctico. Los análisis estadísticos se realizaron con los programas STATISTICA versión 8,9 y R versión 3.3.1 con un nivel de significancia de 0,05.

Cuadro 1. Variables evaluadas en el proceso de aprendizaje aplicado en tres temáticas industriales forestales.

Sección funcional	Aspecto evaluado
Conocimiento base del usuario	Conoce la definición de secado/preservado
	Conoce la variación de secado /preservado por especies madera
	Conoce utilidad de la actividad de secado/preservado
Conocimiento teórico del usuario	Dominio de tecnicismos de las operaciones de secado/preservado
	Entendimiento de valores o parámetros generados en las actividades
	Diferenciación y entendimiento de distintos sistemas de secado/preservado
Conocimiento práctico del usuario	Como desarrolla actividades de secado/preservado
	Proceso de control del secado/preservado
	Reconocimiento de la calidad de la actividad realizada
	Aplicación práctica de control de normas de calidad

Resultados

Caracterización cuantitativa de grupo de estudio previo a los cursos

La evaluación previa del conocimiento al grupo estudiado (cuadro 2) mostró que el conocimiento de la temática de secado y preservado es similar, en cambio la norma de calidad de madera presentó valores significativamente distintos. Los resultados mostraron un nivel bajo de conocimientos básicos (inferiores al 50%), pero con una aplicabilidad de las temáticas en las actividades laborales diarias elevada para el caso de secado y preservado (mayor al 60%) y baja con la norma calidad (45,5%), evidenciando una aplicabilidad laboral significativa de las temática pero con ausencia de conocimientos verídicos que la sustenten; en contra parte al evaluar el interés de adquisición del conocimiento, el grupo presentó un grado de interés superior al 90% considerado como muy alto pero con la premisa de que la precepción de la temática de la norma de calidad podría ser significativamente más difícil (60,8 %) que los temas de secado y preservado, los cuales no mostraron diferencias entre sí (entre 30 y 45%).

Cuadro 2. Valores medio de los parámetros considerados en la línea base de conocimientos del grupo de estudio aplicado con tres temáticas industriales forestales.

Parámetro considerado	Temática	Valor porcentual
Conocimiento básico de la temática	Secado	56,5 ^a (10,5)
	Preservado	56,4 ^a (11,6)
	Norma de calidad	33,3 ^b (15,7)
Aplicación de las temáticas en actividades laborales	Secado	66,8 ^a (8,9)
	Preservado	60,8 ^a (7,0)
	Norma de calidad	45,4 ^b (9,1)
Interés de adquisición del conocimiento para futuros proyectos	Secado	93,7 ^a (9,7)
	Preservado	90,9 ^a (5,7)
	Norma de calidad	90,0 ^a (10,1)
Consideración del grado de dificultad del tema	Secado	42,6 ^a (7,6)
	Preservado	33,3 ^a (4,0)
	Norma de calidad	60,8 ^a (11,5)

Nota: valores entre paréntesis representa la desviación estándar; letras diferentes indican diferencias significativas con un $\alpha=0,05$

Análisis de adquisición de conocimientos y efectos de aprendizaje teórico y práctico

La evaluación de la curva del conocimiento adquirido cuantifico (CAC) (figura 1), mostró una misma tendencia en las tres temáticas, que consistió en un aumento del CAC a la finalización de cada curso, seguido por un decrecimiento posterior a 30 semanas; el aumento del CAC varió del 30 al 52 %, siendo la temática de la norma de calidad la que mostró mayor conocimiento adquirido (del 51,3%), seguida por preservado (con 33,5%) y en menor cantidad la de secado (con 20,4%), posterior a 30 semanas se encontraron decrecimientos del 12 al 30 % reiterando la

tendencia que la norma de calidad presentó una pérdida del 34,6% (una retención del 54,7%), seguida por la el tema de preservado con un 23,3% (retención del 62,9%) y secado con apenas un 11% de decrecimiento (retención del 73,4 %).

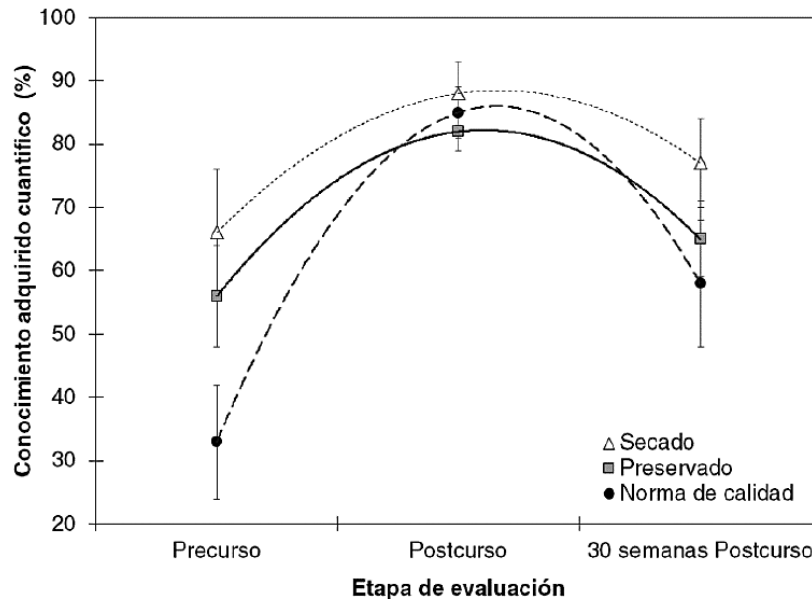


Figura 1. Curva de conocimiento adquirido cuantitativo (CAC) en la etapa de Precurso, Postcurso y 30 semanas Postcurso con tres temas de aprendizaje forestal a cinco grupos de estudio.

Al analizar la composición del CAC a partir de los valores de aprendizaje cuantificado (VAC) teóricos y prácticos (cuadro 3), se encontró que la curva de temática de secado presentó el menor aumento en el conocimiento, los valores del VAC teórico y práctico no mostraron diferencias significativas entre la fase post curso y 30 semanas post curso, lo que significa que el proceso de evaluación incidió en una buena asimilación del conocimiento. Respecto al conocimiento en la norma de calidad el VAC teórico y práctico muestran diferencias significativas del conocimiento adquirido, la impartición del curso aumentó el conocimiento; sin embargo, posteriormente se dio la pérdida de retención, el valor a 30 semanas post curso no llegó a ser tan bajo como el pre curso (inferiores al 46%) siendo eficiente de manera parcial el sistema empleado, mostrando que si se mantuvo la permanencia del conocimiento en los usuarios. El VAC teórico del tema de preservado muestra como el sistema de aprendizaje utilizado incrementó significativamente el conocimiento adquirido después de impartido el curso, y este presentó una disminución significativa posterior a las 30 semanas post curso; sin embargo, la retención del conocimiento en comparación con la valoración pre curso fue beneficiosa y significativa, caso contrario los valores portados para el VAC práctico de preservado, en el cual la pérdida de conocimiento a las 30 semanas adquiere valores similares al conocimiento poseído previo del curso, siendo el sistema utilizado ineficiente.

Análisis perceptual del método de aprendizaje implementado

La percepción del método significativo-observacional empleado vario significativamente en las tres temáticas (figura 2), la temática de secado obtuvo la mejor percepción (r^2 de 0,82), al considerar que se impartió con una utilidad y simplicidad elevada, siendo altamente funcional, lo cual incide con los resultados de la figura 1 y cuadro 2, en los cuales se muestra como la

retención del conocimiento fue mayor; en cambio con la temática de preservado se mantuvo la percepción que el sistema presentó una utilidad elevada pero con una tendencia mayor a ser considerado como complicado, esta percepción no fue homogénea y por ende el coeficiente de determinación fue menor que el obtenido en secado (r^2 de 0,61). Por otra parte, en la temática de la norma de calidad no se observa una tendencia perceptual clara, al tener una respuesta heterogénea, incidiendo en un coeficiente de determinación muy bajo (r^2 de 0,43), aunque la tendencia muestra ser de utilidad elevada y simple, una cantidad significativa de usuarios opinaron lo contrario, lo que no permitió observar una tendencia clara.

Cuadro 3. Valores de aprendizaje cuantificado (VAC) teórico y práctico obtenido en las tres fases de evaluación con tres temáticas industriales forestales.

Temática	Fase de Evaluación	VAC (%)	
		Teórico	Práctico
Secado	Precurso	55,5 ^a (6,5)	78,5 ^a (7,0)
	Postcurso	85,1 ^b (4,0)	92,2 ^b (8,8)
	30 semanas Postcurso	70,7 ^b (6,9)	84,4 ^b (6,7)
Preservado	Precurso	38,3 ^a (6,0)	74,2 ^a (5,7)
	Postcurso	70,0 ^b (8,6)	93,3 ^b (6,7)
	30 semanas Postcurso	65,5 ^c (8,8)	75,0 ^a (4,3)
Norma de calidad	Precurso	22,9 ^a (6,5)	45,3 ^a (4,6)
	Postcurso	75,7 ^b (7,7)	90,2 ^b (6,7)
	30 semanas Postcurso	51 ^c (9,0)	62,0 ^c (8,0)

Nota: valores entre paréntesis representa la desviación estándar; letras diferentes indican diferencias significativas con un $\alpha=0,05$

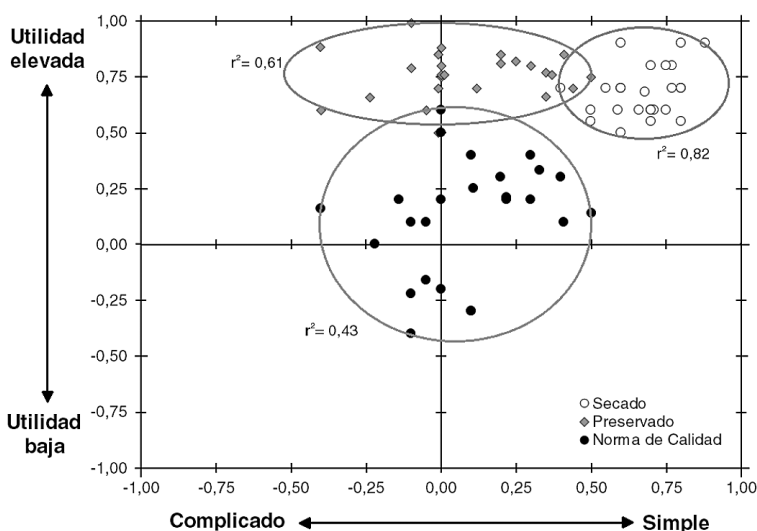


Figura 2. Agrupaciones perceptuales obtenidas en la valoración de tres temas de aprendizaje forestal a cinco grupos de estudio.

Al descomponer esta percepción en la sección teórica y práctica del curso (figura 3) se destaca una mejor percepción grupal en la sección práctica (figura 3b) en comparación a la teórica que presentó valores en los ejes negativos. Al analizar la temática de secado en ambas secciones del sistema de aprendizaje empleado, presenta percepciones superiores a 0,20, considerada como muy útil y simple; para el tema de preservado se mantiene para ambas secciones la percepción de utilidad elevada; sin embargo, la sección teórica mostró una tendencia a ser complicada, lo cual indica que el sistema requiere ajustes en la parte teórica, al no ser tan aceptada como la sección práctica. Finalmente, con la temática de la norma de calidad la alta heterogeneidad de los datos no permite visualizar una tendencia clara, si bien la sección práctica tiende a ser mejor calificada que la teórica, no es significativa (r^2 de 0,39), lo que implica que el sistema utilizado no se adecua completamente a este tipo de temática, requiriendo ajustes significativos en la sección práctica y en menor medida en la teórica.

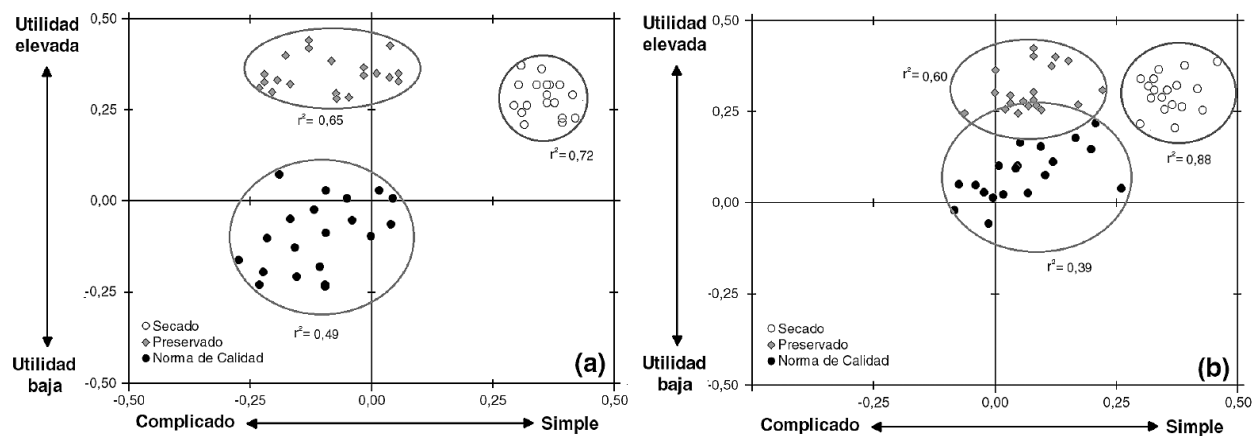


Figura 3. Agrupaciones perceptuales obtenidas en la valoración teórica (a) y práctica (b) de tres temas de aprendizaje forestal a cinco grupos de estudio.

Respecto a la temática de la norma de calidad, la cual presentó la menor retención, evidenciando la necesidad de mejorar o replantear el sistema de aprendizaje evaluado, [11], [13], [15] destaca que pérdidas de retención superiores al 20 % en menos de 6 meses demuestra que el sistema de aprendizaje utilizado es complicado o no genera la atracción o desarrollo suficiente para que el usuario pueda tener mayor capacidad de interpretación.

El segundo argumento muestra como la variabilidad de adquisición del conocimiento está influenciado por su aplicabilidad en aspectos laborales, [14] enfatizan que un elemento fundamental del sistema de aprendizaje significativo-observacional, es que el usuario pueda aplicar o reintegrar a sus actividades diarias la mayoría de los conocimientos adquiridos, esto debido a que el procesamiento de reintegración de información es la constante reiteración de un concepto o elemento que facilita la capacidad de retención de la información, por esta razón en varias temáticas el aspecto práctico (cuadro 3) presentó mejores retenciones en comparación con la parte teórica, al implementar los usuarios en sus actividades laborales los temas de secado y preservado, les resulta más fácil asimilar y reintegrar mejor la información práctica que los conceptos teóricos que son menos utilizados, [1], [4] mencionan que en este tipo de actividades en las cuales el elemento práctico tiene más reintegración que el elemento teórico, se debe promover en el usuario un análisis crítico de la actividad en la cual de forma consiente reincorpore el concepto teórico y balancee la retención de información.

El tercer factor mencionado por [11], [13], [15] es la relación funcionalidad-tiempo, este concepto se basa en la capacidad de desarrollar el conocimiento adquirido en el tiempo [2], conforme el tema sea funcional y no solo permita al usuario implementarlo sino incentivarlo a aumentar su conocimiento, con el tiempo el manejo de la temática será mejor y presentará mayor fluidez neuronal en el momento de aplicar el conocimiento. La poca relación de funcionalidad-tiempo genera que el conocimiento se pierda en el tiempo y su potencialidad de uso disminuya, [1]–[3] destacan en este aspecto que temas complicados o de percepción compleja (cuadro 1) deben ser explotados en funcionalidad para mantenerse en el tiempo, de lo contrario la retención será mínima, razón por la cual el tema de la norma de calidad muestra menores valores de aprendizaje, menor retención y mayor pérdida de retención y expectativa de aprendizaje, el sistema empleado en conjunto a su poca implementación laboral generan funcionalidad baja en el tiempo provocando no ser recordado de forma adecuada por los usuarios, caso contrario mostraron los temas de secado y preservado de la madera, los cuales por su impacto y uso constante en sus actividades laborales tienden a ser funcionales en el tiempo.

Puntos a considerar en el proceso de aprendizaje en temáticas forestales

Es importante destacar el principio de variabilidad educativa de temas paralelos, que presentan [4], [5] que consiste en temas con funcionalidad similar, pero con conceptos distintos, en los cuales se puede usar un sistema de aprendizaje análogo, pero con modificaciones en los puntos de mayor desgaste de aprendizaje (reconsiderados como conceptos o actividades complicadas); en el caso de este proyecto, los temas de secado, preservado y norma de calidad de la madera se presintieron eran temas similares, por lo cual el sistema de aprendizaje implementado fue funcional entre sí; sin embargo, la percepción por parte de los usuarios no fue conforme, el tema secado y preservado son paralelos por su común aplicabilidad en las actividades labores, en cambio la norma de calidad no presenta el mismo patrón (figura 3) ya que presentó mayor complejidad y una utilidad menor, [4] mencionan como en estos casos se deben hacer modificaciones y analizar la carga de conceptos teóricos y prácticos, analizar las actividades prácticas desarrolladas y el manejo conceptual implementado, ya que temas con percepción variable no garantizan la utilización de los conceptos adquiridos a largo plazo y muestran pérdidas de retención superiores al 70 %.

Todo lo anterior sugiere que en temas forestales es necesario hacer un análisis y replanteamiento de las técnicas empleadas, ya que existe una alta posibilidad de que su efecto sea mínimo o nulo, como destaca [9], indicando que los temas forestales deben ser impartidos con claridad, al desearse que su impacto sea elevado en el tiempo por tratarse de temas en recursos naturales y sostenibilidad ambiental, [4] menciona la necesidad de mejorar aspectos como, el reforzamiento extensionista, el manejo de conceptos claros, el buen balance de conceptos teóricos y prácticos, evaluaciones subjetivas que permitan definir las fortalezas y debilidades del proceso empleado a partir del cual se pueda mejorar el sistema empleado y finalmente el proceso de la constante actualización y reforzamiento de conceptos forestales adquiridos. Esto con el fin de mejorar la capacidad y retención del conocimiento de los usuarios meta en el tiempo.

Conclusiones

La aplicación del sistema de aprendizaje significativo-observacional en temáticas forestales mostró respuestas distintas, con el tema secado se presentó una mayor retención (superior al 70%) y desarrollo de aprendizaje, lo cual incidió que el sistema implementado se interpretara como muy útil y simple; caso similar con la temática de preservado que mostró un aprendizaje con una retención superior al 62,9 % y una percepción final del tema de moderadamente simple

pero muy útil, estos resultados se debieron al conocimiento previos de los usuarios, en conjunto con la posibilidad de aplicación de conceptos en actividades diarias que incidieron en que estos conceptos sean funcionales en el tiempo.

Contrario a lo mencionado, la temática de norma de calidad presentó menor funcionalidad con el sistema de aprendizaje utilizado, que provocó menor retención del conocimiento (56 %) y una percepción variable del curso, debido a que su conocimiento previo fue bajo, al no aplicarse en sus labores diarias y su funcionalidad no fue la óptima, por cual es necesario hacer revaloraciones o cambios en el sistema empleado para aumentar la retención y funcionalidad del tema.

Se recomienda para estudios futuros realizar valoraciones post curso un año después del proceso de enseñanza, con la finalidad de conocer la retención a largo plazo del conocimiento brindado. Asimismo, es importante cuantificar el impacto de implementar los cambios propuestos en este estudio sobre la metodología de enseñanza de la temática abordada con el fin de mejorar las técnicas de aprendizaje.

Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] C. Barrantes and J. Yagüe, "Adults' Education and Agricultural Innovation: A Social Learning Approach," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 191, pp. 163–168, 2015.
- [2] A. McElwain, V. Finnegan, A. Whittaker, J. Kerpelman, F. Adler-Baeder, and A. Duke, "Evaluation and lessons learned from an undergraduate service learning course providing youth-focused relationship education," *Evaluation and Program Planning*, vol. 58, pp. 116–124, 2016.
- [3] Y. Kashiwaba, K. Kozawa, and H.-H. Uchida, *Evaluation of learning environment for ESD (Education for Sustainable Development) using activity index of salivary amylase*. 2012, pp. 1087–1090.
- [4] S. Miller, R. Taylor-Piliae, and K. Insel, "The association of physical activity, cognitive processes and automobile driving ability in older adults: A review of the literature," *Geriatric Nursing*, vol. 37, no. 4, pp. 313–320, 2016.
- [5] N. Berasategi, I. Alonso, and G. Roman, "Service-learning and Higher Education: Evaluating Students Learning Process from their Own Perspective," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 228, pp. 424–429, 2016.
- [6] M. Zhan, X. Xiang, and W. Elliott, "Education loans and wealth building among young adults," *Children and Youth Services Review*, vol. 66, pp. 67–75, 2016.
- [7] M. Hei, J.-W. Strijbos, E. Sjoer, and W. Admiraal, "Thematic review of approaches to design group learning activities in higher education: The development of a comprehensive framework," *Educational Research Review*, vol. 18, pp. 33–45, 2016.
- [8] B. Németh, "Research and Development of Adult Education through Higher Education Institutions: A Challenge and Perspective for Better Adult Learning and Education," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 142, pp. 97–103, 2014.
- [9] W. Silva, L. Silva, C. Silva, and P. Nascimento, "Optimization and simulation of drying processes using diffusion models: application to wood drying using forced air at low temperature," *Wood Science and Technology*, vol. 45, no. 4, pp. 787–800, 2011.
- [10] F. Obounou-Akong, P. Gérardin, M.-F. Thévenon, and C. Gérardin-Charbonnier, "Hydrogel-based boron salt formulations for wood preservation," *Wood Science and Technology*, 2015.
- [11] E. Aponte, "Towards a new evaluation culture in higher education," *Prospects*, vol. 28, no. 3, pp. 393–399, 1998.
- [12] B. Wahlgren, K. Mariager-Anderson, and S. Sørensen, "Expanding the traditional role of the adult education teacher – The development of relational competences and actions," *Teaching and Teacher Education*, vol. 60, pp. 303–311, 2016.



- [13] A. Prisăcariu, "Approaches of Quality Assurance Models on Adult Education Provisions," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 142, pp. 133–139, 2014.
- [14] S. Hubackova and I. Semradova, "Research Study on Motivation in Adult Education," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 159, pp. 396–400, 2015.
- [15] R. Schendel and T. McCowan, "Expanding higher education systems in low- and middle-income countries: the challenges of equity and quality," *Higher Education*, vol. 72, no. 4, pp. 407–411, 2016.
- [16] S. Cakula, A. Jakobsone, and M. Florea, "Automated Learning Support System for Adult Education Institutions and Enterprises," *Procedia Computer Science*, vol. 77, pp. 191–198, 2015.
- [17] A. McElwain, V. Finnegan, A. Whittaker, J. Kerpelman, F. Adler-Baeder, and A. Duke. "Evaluation and lessons learned from an undergraduate service learning course providing youth-focused relationship education," *Evaluation and Program Planning*, vol. 58, pp.116–124, 2016.
- [18] N. Berasategi, N. Alonso, and G. Roman. Service-learning and Higher Education: Evaluating Students Learning Process form their Own Percpective. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 228, pp. 424–429, 2016.
- [19] S. Miller, R. Taylor-Piliae, and K. Insel, K. "The association of physical activity, cognitive processes and automobile driving ability in older adults: A review of the literature". *Geriatric Nursing*, vol. 37, nÚm. 4, pp. 2016.
- [20] Y. Kashiwaba, K. Kozawa, and H. Uchida. "Evaluation of learning environment for ESD (Education for Sustainable Development) using activity index of salivary amylase," *Higher Education*, vol. 5, pp. 1087–1090, 2012.
- [21] FAO, "Propuesta de Educación Forestal," Septiembre 2016. (En línea). Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/material-educativo/es/>
- [22] INTE O6-07-02-2014. *Uso general de la madera*. Primera Edición. INTE CTN 06. San José, Costa Rica. 37 p. 2014
- [23] INTE 06-07-01-2011. *Madera estructural –Clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante una evaluación visual*. Primera Edición. INTE CTN 06. San José, Costa Rica. 37 p. 2011
- [24] R. Moya, F. Muñoz, J. Salas, A. Berrocal, L. Leandro, E. Esquivel. "Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas Técnicas". *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 7, num.18-19, p.:207. 2010.

Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ecológica y calidad del agua en la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Ecological vulnerability and water quality diagnosis of the stream La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Andrea Araya-Ulloa¹, Guillermo Calvo-Brenes^{2*}

Fecha de recepción: 28 de octubre de 2016
Fecha de aprobación: 5 de febrero de 2017

Araya-Ulloa, A; Calvo-Brenes, G. Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ecológica y calidad del agua en la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 47-58.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3272



1. Bióloga. Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción graduada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: andre17ulloa@gmail.com.
2. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: gcalvo@itcr.ac.cr.
*Contacto de correspondencia.

Palabras clave

Calidad del agua; vulnerabilidad ecológica; índice de calidad del agua; recurso hídrico; nacimiento; agua para consumo humano.

Resumen

Cambios en el entorno, tales como el uso del suelo, el tipo de geomorfología de la zona cercana a ríos, así como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones pluviales que ocasionan procesos de escorrentía o el uso intensivo en actividades agrícolas y ganaderas; afectan tanto la calidad como la cantidad del recurso hídrico.

El objetivo del estudio fue elaborar una propuesta preliminar de manejo integral de la quebrada La Central que mejorara su calidad por medio de un programa de gestión ambiental. La investigación se llevó a cabo en la quebrada La Central que es la encargada de abastecer a los habitantes de agua para consumo humano de varios pueblos de la provincia de Cartago (Costa Rica).

Primeramente, se evaluó la calidad por medio de un índice de calidad del agua (ICA) en la nacimiento y varios puntos del río sobre el cual descarga la nacimiento, por un período de tres meses de la época lluviosa. Además, se evaluó la vulnerabilidad ecológica en la zona de estudio analizando distintos indicadores ecológicos. También, se hicieron entrevistas como mecanismo para evaluar las prácticas agrícolas de la zona.

Los valores del ICA mostraron un deterioro cada vez mayor de la calidad del agua de la nacimiento, provocado por incrementos en el contenido de nitratos, probablemente asociado a fenómenos de escorrentía causado por el aumento de las lluvias. Si bien estos niveles son menores a los 50 mg/L permitidos en nuestra legislación para agua de consumo humano, la contaminación podría aumentar en los meses de mayores precipitaciones pluviales. Los otros puntos de muestreo mostraron presencia de coliformes fecales, probablemente causados por actividades ganaderas en las zonas altas. La evaluación de la vulnerabilidad ecológica mostró vulnerabilidades altas o muy altas con algunos indicadores ecológicos evaluados.

Se recomendó efectuar un monitoreo de la calidad del agua que incluya los meses de mayor precipitación pluvial así como la implementación de programas de gestión y cultura ambiental con los agricultores y ganaderos de la zona, dentro de las cuales se debe incluir el empleo de buenas prácticas agrícolas.

Keywords

Water quality; ecological vulnerability; water quality index; hydric resource; spring water; drinking water.

Abstract

Changes in the environment, such as land use, type of geomorphology of the area near rivers, as well as the intensity and frequency of rainfall causing runoff processes or intensive use in agriculture and livestock; affect not only the quality but also the quantity of water resources

The aim of the study was to develop a preliminary proposal for comprehensive management of the stream La Central oriented to prevent the introduction of pollutants and on the other hand, improve its quality through an environmental management program. The research was done in the stream La Central that is responsible for supplying the inhabitants of water for human

consumption of several towns in the province of Cartago, Costa Rica. First, water quality was evaluated through a water quality index (ICA) in the spring water and several points of the nearby river, for a period of three months of the rainy season. In addition, the ecological vulnerability was assessed in the study area analyzing different ecological indicators. Interviews were also made to assess agricultural practices in the area. Finally, some recommendations leading to reduce the risk of contamination of the creek and also improve the water quality caused by the environmental effect.

ICA values showed an increasing deterioration of water quality of the spring water, led by increases in nitrate content, probably associated with runoff phenomena caused by major rainfalls. Although in all cases, the value is less than 50 mg/L which is allowed in our legislation for drinking water, pollution may be higher in the months of higher rainfalls. The other sampling points showed the presence of fecal coliforms, probably caused by livestock in the highlands. The assessment of ecological vulnerability was High or Very High vulnerabilities in particular ecological indicators.

It was recommended to carry out monitoring of water quality during the months of highest rainfalls and implementing management and environmental culture programs with farmers and ranchers in the area, along with good agricultural practices.

Introducción

Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos contra la salud que son prevenibles [1]. Estudios efectuados en ríos costarricenses muestran niveles de contaminación altos, especialmente en zonas de alta densidad poblacional [2]. El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionadas con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, tifoidea y la poliomielitis [1]. Costa Rica es considerado un país de oferta hídrica: el capital estimado es de 31 318 m³ per cápita y su extracción representa apenas un 5,1 % del total disponible en el país [3]. Desafortunadamente, los niveles de contaminación de los ríos que atraviesan zonas de alta densidad poblacional, son altos [2]. Cambios en el entorno, tales como el uso del suelo, el tipo de geomorfología de la zona cercana a ríos, así como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones pluviales que ocasionan procesos de escorrentía o el uso intensivo en actividades agrícolas y ganaderas; afectan tanto la calidad como la cantidad del recurso hídrico [2], [4]. La determinación de la calidad de un cuerpo de agua usualmente conlleva al análisis de una cantidad grande de indicadores. Sin embargo, el uso de índices de calidad del agua (ICAs) simplifica su evaluación ya que sintetiza una gran cantidad de información de muchos indicadores en un solo valor de fácil interpretación. En el caso de los ICAs, es común que las unidades de medición se expresen porcentualmente, donde valores cercanos a 0 % representan a aguas altamente contaminadas y los valores cercanos al 100 % corresponden a aguas no contaminadas. También, es normal la clasificación de la calidad por medio de rangos porcentuales, tal como se indica posteriormente en la figura 2 [4]. Además de los contaminantes vertidos directamente al agua y que afectan su calidad para consumo humano, es necesario tener en cuenta los riesgos causados por el entorno. Un análisis de vulnerabilidad consiste en la determinación del factor de riesgo de un sistema de sufrir eventuales daños o afectaciones. En el tema ambiental interesa evaluar la vulnerabilidad ecológica, la cual estará definida por las condiciones ambientales y ecológicas del entorno. Los indicadores empleados para efectuar este tipo de valoración son: cobertura vegetal, uso del suelo, prácticas de conservación del suelo y el agua, erosión del suelo, contaminación en la zona de estudio, pendiente del terreno, actividades agrícolas y ganaderas, así como las características del suelo [5], [6]. El agua proveniente de ríos o nacientes que se utilizan para

consumo humano, debe ser monitoreada frecuentemente, tanto con análisis fisicoquímicos como microbiológicos. Igualmente es importante efectuar análisis de vulnerabilidad ecológica con el objeto de implementar programas de gestión y cultura ambiental con los habitantes de la zona de estudio, con el fin de reducir el riesgo de contaminación directa al río. Por otra parte, un mejor manejo del entorno provoca una mejora en la calidad de las aguas [2], [4]. El objetivo del estudio fue elaborar una propuesta preliminar de manejo integral de la quebrada La Central orientada a evitar la introducción de agentes contaminantes y por otro lado, mejorar su calidad por medio de un programa de gestión ambiental. Primeramente, se evaluó la calidad en la naciente y en varios puntos cercanos al río sobre el cual descarga la naciente, por medio de un ICA. Además, se evaluó la vulnerabilidad ecológica en la zona de estudio analizando distintos indicadores ecológicos. También, se hicieron entrevistas como mecanismo para evaluar las prácticas agrícolas empleadas por los agricultores de la zona. Finalmente, se propusieron algunas recomendaciones que conduzcan a reducir el riesgo de contaminación de la quebrada y repercutan también en una mejora de la calidad del agua por efecto del entorno.

Materiales y métodos

Sitio del estudio y características geomorfológicas

La investigación se llevó a cabo en la quebrada La Central que es la encargada de abastecer de agua para consumo humano a los habitantes de varios pueblos de la provincia de Cartago (Costa Rica): Cot de Oreamuno, así como Buenos Aires y Barrio Fátima de Pacayas de Alvarado. La quebrada se ubica en la parte media de la subcuenca del río Birrís (figura 1) y la forma de su recorrido es irregular, con pendientes y cascadas considerables en zonas aledañas al área de captación del agua. Esta geomorfología del terreno puede repercutir en impactos negativos en la calidad del agua, especialmente durante la ocurrencia de escorrentías provocadas por lluvias fuertes.

Además, la presencia de asentamientos humanos cercanos a la quebrada, la existencia de un antiguo botadero clandestino y el cambio del uso del suelo para las actividades agrícolas y ganaderas, son factores que pueden afectar negativamente la calidad de sus aguas.

Análisis de calidad del agua

Los puntos de muestreo para evaluar la calidad del agua fueron: la naciente, un punto de muestreo aguas arriba y otro, aguas abajo, en una quebrada cercana en la cual descarga la naciente. También se muestreó un tanque de captación de agua (figura 3).

Los muestreos para el análisis fisicoquímico y microbiológico se llevaron a cabo en los meses de Mayo, Junio y Julio del año 2015.

La calidad del agua se evaluó por medio del índice de calidad (ICA) propuesto por Calvo [2] y codificado como ICA-4b-Gmo en su investigación. Este índice ha demostrado ser el más apropiado para una adecuada evaluación de la calidad de las aguas para Costa Rica, en lugar del tradicional índice holandés que se indica en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [7]. Estudios comparativos efectuados en el pasado con distintos ICAs, pueden ser consultados en la tesis de grado titulada Modelo de Predicción de la Calidad del Agua en Ríos basado en Índices e Indicadores del Recurso Hídrico y el Entorno Socio Ambiental [2]. La evaluación de la calidad del agua por medio del índice de Calvo [2], requiere del análisis de los siguientes indicadores fisicoquímicos y microbiológicos: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), porcentaje de saturación de oxígeno, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo de fosfatos, alcalinidad, turbiedad y coliformes fecales.

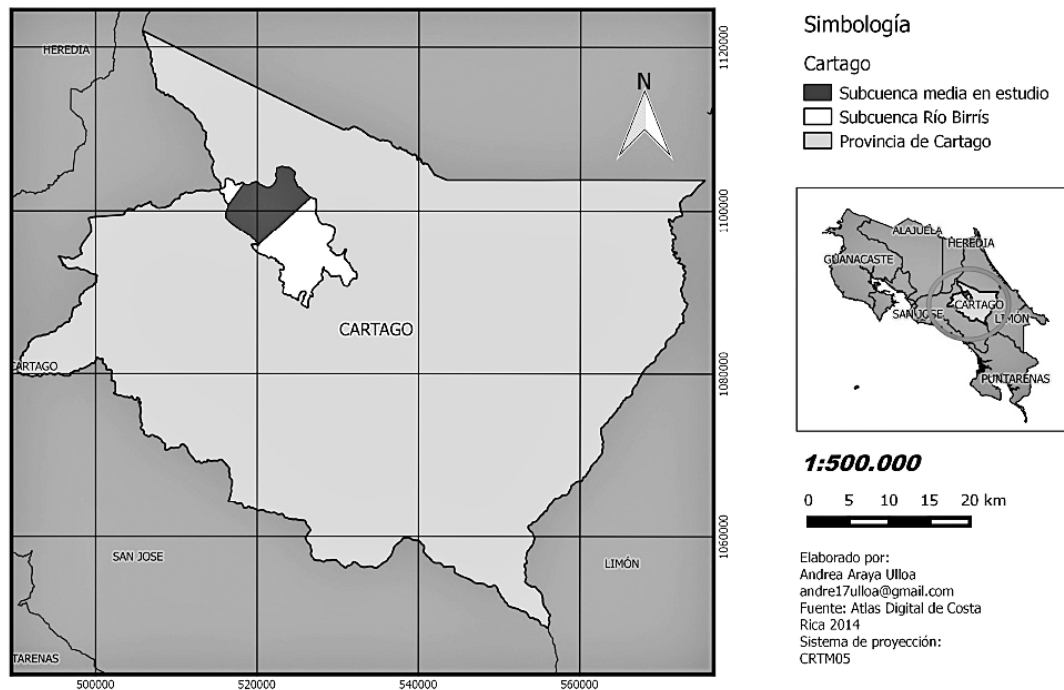


Figura 1. Zona de estudio ubicada en la subcuenca del río Birris en Pacayas de Alvarado Cartago (Costa Rica).

El muestreo y los análisis de los distintos indicadores fisicoquímicos y microbiológicos se efectuó siguiendo el procedimiento descrito en [8]. El ICA se calculó empleando la fórmula de agregación de los subíndices (SI) 1 [2]:

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (1)$$

donde:

Sli es el subíndice de cada indicador.

n es el número total de indicadores utilizados en el cálculo.

El cálculo de los distintos Sli se efectuó empleando las transformaciones que se indican en el cuadro 1 con el fin de homologar las diferentes magnitudes y unidades que emplea cada indicador. Mayores detalles se encuentran en la tesis de Calvo [2].

La figura 2 muestra la clasificación de la calidad del agua dividida en rangos y colores propuesta por Calvo [2]. Esta clasificación concuerda con la utilizada por el reglamento costarricense [7], así como la codificación por colores. De esta manera, valores del ICA entre 90-100 % corresponde a una clasificación de la calidad del agua a la Clase 1 (sin contaminación), valores entre 80-90 % es para la Clase 2 (contaminación incipiente), la Clase 3 (contaminación moderada) está asociada a valores entre 60-80 %, la Clase 4 (contaminación severa) es para el rango entre 40-60 % y la Clase 5 (contaminación muy severa) le corresponde a valores menores al 40 %, ver [2], [4].

Evaluación de variables ambientales

Los distintos niveles de elevación geográfica en la zona de estudio se determinaron utilizando el programa de cómputo *Google Earth*.

Cuadro 1. Fórmulas para el cálculo del SI para varios indicadores de la calidad del agua, ajustadas a las condiciones ambientales y reglamentarias de Costa Rica.

Indicador	Fórmula
Alcalinidad	SI= 100 para $X \geq 31.9$ $SI = \frac{a * b + c * x^d}{b + x^d}$ donde $a = -1.63 * 10^{-11}$, $b = 20,10495$, $c = 263,2578$, $d = 0,725064$
Coliformes fecales	SI= 0 para $X \geq 9000$ $SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 96,42218$, $b = -0,0195$, $c = 9,80 * 10^{-07}$
Demanda bioquímica de oxígeno	$SI = \frac{1}{a + bx^c}$ donde $a = 0,010027$, $b = 0,000352$, $c = 1,735142$
Fósforo de fosfatos	$SI = \frac{1}{(a + bx - cx^2)}$ donde $a = 0,01012$, $b = 0,020003$, $c = 0,009649$
Nitratos	SI= 0 para $X \geq 22.4$ $SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 99,42857$, $b = -0,57143$, $c = -0,17143$
Nitrógeno amoniacal	$SI = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ donde $a = -124,008$, $b = -2,24954$, $c = -0,22761$
Porcentaje de saturación de oxígeno	$SI = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ donde $a = 101.1401$, $b = 48.05573$, $c = 0.081714$
Turbiedad	$SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 97,50282$, $b = -0,18567$, $c = 0,0000882$ SI= 0 para $X > 1000$

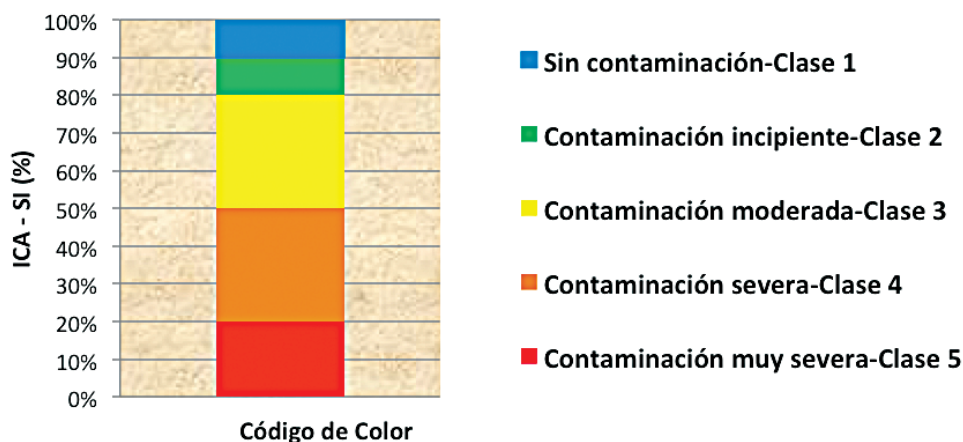


Figura 2. Clasificación de la calidad del agua por clases. Fuente: Calvo-Brenes, 2013.

El análisis del uso del suelo y la cobertura vegetal se evaluaron con la ayuda de imágenes áreas y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), utilizando el programa Quantum GIS 2.8.2. Además, se definieron seis categorías de uso del suelo: cultivos estacionales,

pasto, pasto arbolado, ganadería, residencias y zona boscosa, siguiendo la recomendación de [9] con algunas modificaciones [2]. El muestreo, preparación de las muestras y análisis de compactación del suelo se efectuaron siguiendo las recomendaciones de [10]. La densidad aparente del suelo se calculó a partir de la fórmula:

$$D.a. \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Peso seco del suelo (g) 24h a 105 °C}}{\text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

donde:

D.a.: Densidad aparente

La textura del suelo, que es el contenido porcentual de arena, limo y arcilla, se determinó por el método de Bouyoucos [11]. Posteriormente, se utilizó el triángulo textural del suelo propuesto por el U.S. Department of Agriculture de los Estados Unidos de América (USDA) para efectuar la clasificación textural cualitativa [4]. La determinación de la infiltración se llevó a cabo in situ. Para ello se establecieron seis puntos de muestreo en un suelo no disturbado desnudo en la zona de estudio. Para cada sitio se colocó un infiltrómetro de un anillo, y se incorporó al suelo hasta una profundidad de 3 pulgadas. Luego con un plástico se cubrió el anillo y se vertieron 107 ml de agua destilada en el revestimiento de plástico. Seguidamente se tiró del plástico suavemente, y se anotó el tiempo que el agua tardó en infiltrarse al suelo [12].

Vulnerabilidad ecológica

La vulnerabilidad ecológica se calculó utilizando la metodología propuesta por [13], [5], [6]. Los indicadores ecológicos para este tipo de valoración son: cobertura vegetal, uso del suelo, prácticas de conservación del suelo y el agua, erosión del suelo, contaminación, pendiente del terreno, agricultura, ganadería y características del suelo.

La calificación de la vulnerabilidad ecológica para cada indicador se evaluó utilizando el siguiente rango de 0 a 4, donde 0 corresponde a vulnerabilidad nula o muy baja, 1 a vulnerabilidad baja, 2 a vulnerabilidad media, 3 a vulnerabilidad alta y 4 a vulnerabilidad muy alta. La clasificación en cada indicador se llevó a cabo siguiendo niveles de vulnerabilidad propuestos por González [6]. La vulnerabilidad ecológica global se obtuvo sumando el valor asignado de 0 a 4 para cada indicador evaluado y dividiéndolo entre el número de puntos posible que se puede obtener [6], [5].

Conversatorio participativo

Se realizó un conversatorio con un residente de la zona de San Martín de Irazú y con miembros de la Agencia de Servicios Agropecuarios del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Pacayas de Alvarado.

La actividad estuvo orientada a conocer el tipo de productos agrícolas que se siembran en la zona, el tipo de actividad ganadera, el tipo y cantidades de sustancias agroquímicas que se emplean en la zona y las prácticas comunes que emplean los campesinos en su uso, aplicación y la posterior disposición de los residuos de agroquímicos utilizados.

Resultados y discusión

Calidad del agua

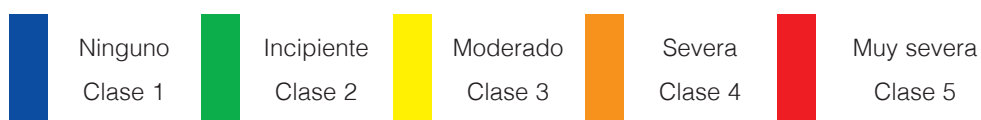
El cuadro 2 muestra la calidad del agua evaluada en los cuatro puntos de muestreo con su respectivo valor numérico porcentual. En el 83,3 % de los casos evaluados en el tiempo y el espacio, los niveles de contaminación van desde “incipiente” hasta “muy severa”. Únicamente

en el 16,3 % de los casos evaluados en el tiempo y el espacio, el agua se clasificó como Clase 1, correspondiente a la clase apta para consumo humano, según la normativa costarricense.

Cuadro 2. Clasificación numérica de calidad del agua de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado Cartago (Costa Rica).

Punto de muestreo	Mes de muestreo		
	Mayo	Junio	Julio
Quebrada abajo	88,2	0,0	0,0
Naciente	93,9	74,8	48,1
Tanque de captación	93,9	0,0	0,0
Quebrada arriba	47,8	77,0	0,0

NIVELES DE CONTAMINACION:



Es importante mencionar que el ICA utilizado para evaluar la calidad del agua, fue elaborado en el 2013 utilizando datos del Reglamento para la Clasificación y Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [7]. Este reglamento establece un límite máximo en nitratos de 5 mg/L para la Clase 1, que es agua de calidad para consumo humano con tratamiento previo. Sin embargo, el Ministerio de Salud emitió un nuevo reglamento en el 2015 para la calidad del agua potable donde se modifica este límite a un máximo permisible de 50 mg/L. Por otra parte, no se han hecho las modificaciones correspondientes al Reglamento para la Clasificación y Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, el cual todavía sigue vigente y sobre el cual se desarrolló el ICA utilizado.

El punto de muestreo de mayor interés es la Naciente por ser la zona donde se recolecta el agua que se usa para consumo humano. Este punto registró un nivel de contaminación Moderada en Junio y de Severa en Julio. En ambos casos, el indicador causante de la contaminación fue la presencia de nitratos. En Junio el nivel de nitratos fue de 16,80 mg/L y en Julio fue de 20,00 mg/L. El incremento en niveles mayores de nitratos concuerda con incrementos importantes en la precipitación pluvial la noche previa al muestreo, según el reporte técnico. De acuerdo a lo anterior, se infiere que las fuertes lluvias y la consecuente escorrentía están asociados a niveles altos de nitratos [14]. En los otros puntos de muestreo, la calidad inferior del agua fue causada por niveles altos de nitratos, cuyo rango fue de 15 hasta 24 mg/L; mientras que, en otros casos, esta calidad inferior estuvo asociada a la presencia de niveles altos en coliformes fecales. Durante el estudio se registraron concentraciones de 93, 430 y 1100 NMP/100 mL en los puntos Quebrada Arriba y Quebrada Abajo. El nivel máximo permitido de este indicador es 0 NMP/100 mL para aguas para consumo humano. Estos niveles de contaminación en puntos cercanos a la Naciente deben ser motivo de preocupación y una alerta a la necesidad de llevar a cabo monitoreos más frecuentes en dicha fuente de agua potable. En Junio, se obtuvieron dos de las mayores concentraciones de coliformes fecales, coincidiendo con la ocurrencia de fuertes lluvias. En Costa Rica, los mayores eventos pluviales ocurren normalmente en Octubre

y Noviembre, lo que puede implicar mayores niveles de contaminación en el agua por parte de estos dos indicadores. También las primeras lluvias del invierno asociados con los procesos de escorrentía, recolectan la materia orgánica que se deposita durante la época de verano y que posteriormente es arrastrada por el efecto de las lluvias hacia los ríos cercanos [15], [4].

Uso del suelo

La cuantificación del uso del suelo mostró que un 47 % del área en la zona de estudio corresponde a zona boscosa, mientras que un 27 % están dedicadas a cultivos estacionales (figura 3). Sin embargo, la cobertura boscosa que protege la naciente es mucho menor, tal como se puede observar en la figura 3.

Los cultivos sembrados en las zonas altas se encuentran ubicados principalmente en la parte noreste y oeste de la quebrada, mientras que la permanencia de ganado de pastoreo ocurre en la parte suroeste. La existencia de una pendiente decreciente hacia la naciente (figura 3) aumenta el riesgo de la incorporación de distintos contaminantes en la fuente de agua potable por procesos de infiltración y escorrentías durante periodos de lluvia. Lo anterior fue corroborado por Calvo en [2], [4] al estudiar la relación existente entre el entorno y ciertas actividades humanas con respecto a la calidad del agua.

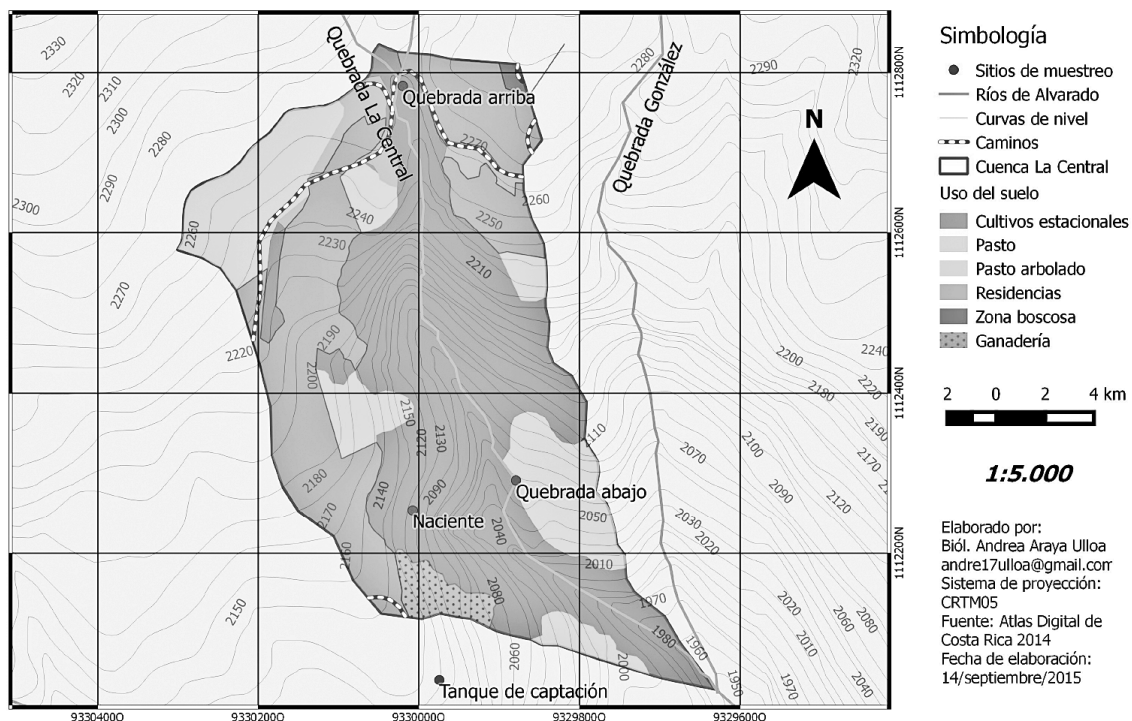


Figura 3. Mapa del uso del suelo en zona de estudio.

La zona boscosa que rodea la quebrada La Central parece ser insuficiente para proteger el agua, dada la pendiente descendente que existe hacia el recurso hídrico y a la práctica de actividades agrícolas. Los cultivos usuales son de papa, repollo, brócoli, coliflor y zanahoria, los cuales generan una mayor erosión de los suelos favoreciendo los procesos de escorrentía [4]. También se corroboró por visitas de campo la práctica de quemas a campo abierto de basura domiciliaria en un sector de la zona de estudio.

Características del suelo

Datos suministrados por la Agencia de Servicios Agropecuarios del MAG ubicada en la zona de Pacayas, indican que el suelo es de origen volcánico de color oscuro y poroso, con una gran cantidad de nutrientes esenciales para el desarrollo óptimo de cultivos agrícolas y pasturas, pero un poco susceptibles a la compactación. Esta podría ser una de las razones por las cuales se da alta actividad agrícola por esa zona.

El análisis de la textura se llevó a cabo con dos tipos de muestras, unas recolectadas de 0 a 20 cm de profundidad y otras de 0 a 40 cm. En el primer caso, el contenido de arena fue de 18,23 %, en arcilla fue de 50,31 % y de limo de 31,46 %. En el segundo caso, la textura correspondió en contenido de arena en un 29,27 %, en arcilla un 52,27 % y en limo con 18,46 %. En ambos casos, la clasificación cualitativa por medio del triángulo textural corresponde a suelo de tipo arcilloso. Los suelos arcillosos favorecen la ocurrencia de escorrentía, una baja infiltración del agua de lluvia [4] y representan una vulnerabilidad Muy Alta.

Los niveles de infiltración evaluados fueron de 2,59 cm/hora, valor que se encuentra dentro de niveles de vulnerabilidad Muy Baja. Por otra parte, el nivel de compactación del suelo fue de 13,55 % lo que corresponde a un suelo poco compactado y a un nivel de vulnerabilidad catalogada como Baja. La presencia de pastos y las condiciones climáticas propias del sitio, permiten el desarrollo de la ganadería lechera. Las actividades ganaderas pueden ser la causa de los valores altos en coliformes fecales, detectados en los puntos muestreados que se mencionaron anteriormente.

Actividades agrícolas

La utilización de fertilizantes y plaguicidas, cuyo uso fue corroborado en la etapa de entrevistas, son dos prácticas agrícolas que incrementan el riesgo de contaminación en la naciente. El uso de plaguicidas y fertilizantes nitrogenados para la siembra de cultivos, es una costumbre generalizada por parte de los agricultores de la zona. Los agricultores usan aproximadamente 11 distintos fertilizantes, así como 15 diferentes plaguicidas y herbicidas.

En los alrededores de la quebrada La Central se utilizan agroquímicos formulados con ingredientes restringidos para su venta según [16], [17] como el Gramoxone empleado en grandes cantidades en la papa, el Lorsban utilizado en papa, brócoli y coliflor, y el Roundup catalogado probablemente como un pesticida cancerígeno para los humanos [18]. La utilización de fertilizantes nitrogenados en cantidades mayores de la que pueden absorber los cultivos, provoca que estos sean eliminados por la acción del agua o del viento antes de que puedan ser absorbidos [19]. Los excesos de nitrógeno pueden ser arrastrados a los cauces o infiltrarse en las aguas subterráneas [20]. Esta podría ser la causa de los altos valores de nitratos encontrados en el análisis fisicoquímico de la quebrada La Central.

Vulnerabilidad ecológica

El estudio de vulnerabilidad ecológica global fue de un 55,79 %, que corresponde a una vulnerabilidad media para la quebrada La Central, de acuerdo a la metodología empleada. Sin embargo, se encontraron vulnerabilidades altas o muy altas en indicadores particulares relacionados con prácticas de conservación de suelos y aguas, presencia de residuos sólidos o basura, suelos desprotegidos por su empleo en cultivos de tipo temporal, cantidad alta de agricultores en la zona de estudio, así como el uso constante de fertilizantes y plaguicidas cercanos al recurso hídrico. También la textura del suelo y su pendiente contribuyen a la existencia de vulnerabilidades muy altas, así como el uso del suelo en actividades agrícolas.

Conclusiones y recomendaciones

Los niveles altos de nitratos y coliformes fecales, posiblemente relacionados a niveles de escorrentía asociados al ciclo hidrológico, se constituyen en una alerta sobre el riesgo de mayor contaminación por parte de estos indicadores durante la época de mayor precipitación pluvial durante el año. Es recomendable efectuar un monitoreo más frecuente durante los meses de la época lluviosa en la quebrada.

Mediante la investigación, se constató la falta de infraestructura de protección en las nacientes y en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano. Se recomienda la construcción de una estructura alrededor de la naciente con el fin de reducir su vulnerabilidad. La existencia de este tipo de estructuras es de gran ayuda en la reducción de riesgo de contaminación de la naciente.

A pesar de que instituciones como el MAG y la Municipalidad de Alvarado desarrollan acciones puntuales hacia mejores prácticas de conservación, existe un uso insostenible de los recursos naturales, que en parte se debe al poco involucramiento y falta de comunicación entre habitantes y entidades locales. Se debe promover la participación de los agricultores y ganaderos, el gobierno local e instituciones gubernamentales, con el fin de desarrollar programas orientados a una mejor gestión y cultura ambiental que incluyan buenas prácticas agrícolas y ambientales en la zona de estudio, las ventajas de la silvicultura y el uso adecuado y responsable de plaguicidas, herbicidas y abonos, así como el manejo de los desechos. Ir en busca a la adopción de nuevos sistemas de producción, que involucren la diversidad agrícola, la óptima utilización de los recursos naturales, el hacer de la agricultura y ganadería actividades más productivas y sostenibles, enfocadas en reducir los impactos negativos sobre el ambiente y en especial, en la quebrada.

Con el fin de fomentar la conservación del medio ambiente, se insta la colocación total de hidrómetros o medidores de agua domiciliarios, manejados bajo un servicio al costo, por el recurso hídrico consumido. Esto además de concientizar, permitirá dar uso eficiente y un manejo adecuado del agua y prolongar la disponibilidad de la misma.

La cobertura forestal que rodea el margen de la quebrada, es escasa, se debe incrementar la zona riparia con especies nativas a lo largo del cauce. Esto reducirá los procesos de sedimentación y erosión, y creará un sistema de absorción de nitratos y otros contaminantes. El sistema de abastecimiento de agua para consumo humano del cantón de Alvarado, podría funcionar mejor si se obtiene el apoyo de los usuarios y se inculca un sentimiento de pertenencia.

Los datos sobre los niveles de contaminación, así como la literatura que existe sobre la relación entre variables socio ambientales y la contaminación de ríos, representan una información importante para concientizar sobre el impacto negativo que se ejerce sobre el ambiente.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). También, agradecemos al Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y al Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) por su gran respaldo a esta investigación.



Referencia

- [1] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.who.int/media-centre/factsheets/fs391/es/>. [Último acceso: 9 Setiembre 2015].
- [2] G. Calvo-Brenes, «Modelo de Predicción de la Calidad del Agua en Ríos Basado en Índices e Indicadores del Recurso Hídrico y el Entorno Social Ambiental,» San José, Costa Rica, 2013.
- [3] D. M. Hidalgo, «Recurso Hídrico en Costa Rica,» de *Diagnóstico de los Recursos Hídricos en América Latina*, Pearson Education, 2013, pp. pp. 220-253.
- [4] G. Calvo-Brenes, Ríos: Fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental, Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015.
- [5] F. Jiménez, J. Faustino y S. Velásquez, «Análisis Integral de la Vulnerabilidad a Amenazas Naturales en Cuencas Hidrográficas de América Central,» de *Semana Científica 2004*, Turrialba, Costa Rica, 2004, pp. pp. 50-53.
- [6] W. González Carrasco, «Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá,» Turrialba, Costa Rica, 2011.
- [7] MINAE, «DIGECA,» 17 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <http://www.digeca.go.cr/legislacion/decreto-33903-reglamento-para-la-evaluacion-y-clasificacion-de-la-calidad-de-cuerpos-de>. [Último acceso: 2 Junio 2015].
- [8] APHA-AWWA-WEF, «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition,» American Public Health Association, 2012. [En línea]. Available: <https://www.standardmethods.org/>. [Último acceso: 2 Junio 2015].
- [9] A. Hernández Ulate, «Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica,» Costa Rica, 2010.
- [10] E. Esquivel, R. Rubilar y D. Faúndez, «Manual de Laboratorio de Suelos y Nutrición Forestal,» no publicado, Chile, 2011.
- [11] A. Chavarría, «Manual de Edafología,» no publicado, Cartago, Costa Rica, 2010.
- [12] USDA y NRCS, «Soil Health for Educators,» 2014. [En línea]. Available: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051576.pdf. [Último acceso: 4 Diciembre 2015].
- [13] G. Wilches-Chaux, «La Vulnerabilidad Global,» de *Los Desastres no son Naturales*, Bogotá, Colombia, Marskey. A. Comp. La Red, 1993, pp. pp 11-44.
- [14] DEQ, «Department of Environmental Quality,» 13 2 2014. [En línea]. Available: <http://www.deq.state.or.us/wq/pubs/factsheets/drinkingwater/NitrateSpanishVersion.pdf>. [Último acceso: 3 Noviembre 2015].
- [15] G. Calvo-Brenes y J. Mora-Molina, «Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa,» *Tecnología en Marcha*, vol. 25, n° 4, pp. pp. 34-39, 2012.
- [16] E. Rojas Cabezas, «Prohibición y Restricción en el Uso y Comercialización de Plaguicidas Agrícolas en Costa Rica,» *Agronomía Costarricense*, vol. 40, n° 1, pp. pp. 89-105, 2016.
- [17] SFE, «Servicio Fitosanitario del Estado MAG Costa Rica,» 2016. [En línea]. Available: https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Plaguicidas_prohibidos_restringidos.pdf. [Último acceso: 12 Diciembre 2015].
- [18] WHO, «IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides,» France, 2015.
- [19] FAO, «Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030,» Roma, Italia, 2002.
- [20] J. J. Martínez Bastida, «El Nitrógeno en las Aguas Subterráneas de la Comunidad de Madrid: Descripción de los Procesos de Contaminación y Desarrollo de Herramientas para la Designación de Zonas Vulnerables,» Madrid, España, 2009.

Comportamiento de nematodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivo de tomate convencional en Costa Rica*

Plant parasitic nematodes behavior in two systems conventional tomato crop in Costa Rica

Joaquín Durán-Mora¹, Tomás de Jesús Guzmán²

Fecha de recepción: 9 de agosto de 2016
Fecha de aprobación: 28 de setiembre de 2016

Durán-Mora, J; Guzmán, T. J. Comportamiento de nematodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivo de tomate convencional en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 59-70.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3273



1 Ingeniero Agrónomo, Profesor e Investigador. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: jduran@itcr.ac.cr.

2 Ingeniero Agrónomo, Profesor e Investigador. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: tjguzman@itcr.ac.cr. Profesor tutor de tesis de doctorado. Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE).

* Investigación realizada como parte de los estudios de postgrado del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE).

Palabras claves

Tomate; café; monocultivo; nematodos; *Meloidogyne*; dinámica poblacional.

Resumen

Esta investigación se realizó en los cantones de Grecia (tomate asociado con café) y Heredia (tomate en monocultivo) de la Región Occidental de Costa Rica, durante setiembre del 2012 y febrero del 2013. Los muestreos mensuales consistieron en recolectar suelo y raíces de tomate en monocultivo y áreas agrícolas con café. Mediante el método centrifugación - flotación se extrajeron, identificaron y cuantificaron los nematodos presentes. Los géneros (en suelo y raíces) fueron *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides*, *Pratylenchus*, *Aphelenchus*.

Los primeros meses después del trasplante (DDT) las poblaciones de fitonematodos fueron bajas. A partir del cuarto mes DDT en áreas en asocio, las muestras de suelo sin oxamil, presentaron aumentos en poblaciones de *Meloidogyne* (48 a 7300 individuos) y *Helicotylenchus* (234 a 2100), mientras que en áreas con oxamil, las poblaciones de *Meloidogyne* se incrementaron de 50 a 2800. En raíces de tomate de áreas sin oxamil, se incrementaron las poblacionales de *Meloidogyne* (1625 individuos a 59200) y *Helicotylenchus* (2175 a 3800); y en zonas con oxamil, las poblacionales de *Meloidogyne* aumentaron de 3288 a 68467.

El tomate en monocultivo, a partir del cuarto mes DDT no presentó poblaciones de *Meloidogyne* en suelo, mientras que *Helicotylenchus* varía de 97 a 123. En raíces, las poblaciones de *Meloidogyne* varían de 17 a 52, y para *Helicotylenchus* de 405 a 392.

La presencia de agallas por *Meloidogyne* se hace más evidente al asociarse tomate con café, aumentando los niveles hasta el 90%. En áreas de tomate en monocultivo no se presentó agallas ni poblaciones de *Meloidogyne*.

Keywords

Tomatoes; coffee; monoculture; nematodes; *Meloidogyne*; population dynamics.

Abstract

This research was conducted in the cantons of Grecia (tomato in associated with coffee) and Heredia (tomato monoculture) in the Western Region of Costa Rica, during September 2012 and February 2013. The monthly sampling consisted of collecting soil and tomato roots in monoculture and agricultural areas with coffee, and by centrifugation method - flotation extracted, identified and quantified the nematodes. The nematodes (soil and roots) were *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides*, *Pratylenchus*, *Aphelenchus*.

The first few months after transplantation (DDT) populations of plant parasitic nematodes were low. From the fourth month DDT in areas in partnership, soil samples without oxamyl showed increases in populations of *Meloidogyne* (48-7.300 individuals) and *Helicotylenchus* (234-2.100), whereas in areas with oxamyl, *Meloidogyne* increase of 50 individuals roots 2.800. In tomato roots without oxamil areas, the population of *Meloidogyne* (1.625 individuals to 59.200) and *Helicotylenchus* (2.175-3.800) increased; and in areas with oxamyl, population of *Meloidogyne* increased from 3.288 to 68.467.

Tomato monoculture, from the fourth month DDT did not present populations of *Meloidogyne* in soil, while *Helicotylenchus* varies from 97 to 123. In roots, *Meloidogyne* populations vary from 17 to 52, and *Helicotylenchus* of 405-392.

The presence of *Meloidogyne* galls becomes more evident by partnering with tomato coffee, increasing levels up to 90%. In areas tomato monoculture not have the galls or populations of *Meloidogyne* was presented.

Introducción

Para solventar la pobreza y la producción de alimentos, el cambio agrícola ha recurrido al incremento de densidades de siembra, monocultivos y uso intensivo de productos fitosanitarios, ocasionando un desequilibrio ecológico, el resurgimiento de plagas y enfermedades, generando dificultad en su combate y pérdidas en cosechas.

En Costa Rica, los productos hortícolas forman parte de la canasta básica, siendo el tomate (*Solanum lycopersicum* L., sin. *Lycopersicon esculentum* Mill.) uno de los cultivos de mayor importancia económica y social para un cierto grupo de agricultores, que demanda para su producción diversas labores de manejo y mantenimiento, solventándose con mano de obra familiar y en muchos casos poco calificada.

Al 2014, existían en Costa Rica 1.250,9 hectáreas dedicadas a la siembra de tomate, de las cuales cerca de 562,5 corresponden a la zona Central Occidental (provincias de Alajuela y Heredia), constituyéndose en uno de los cultivos de exportación de mayor importancia, aumentando las exportaciones de fruta madura (fresca o refrigerada, concentrados, purés, salsas) de 14.108,0 t en 2005 a 54.093,4 t en 2008 [1], y disminuyendo 13.154 kg durante el 2012 lo que generó ingresos alrededor \$24.500 en tomates frescos [2].

Los fitonematodos son organismos que afectan en distinto grado una amplia variedad de cultivos, en especial los hortícolas, causando graves daños económicos al disminuir la productividad. A nivel mundial existen una gran cantidad de nematodos, que causan pérdidas hasta del 38% [3], mientras que autores citados por Hassan *et al.* [4] estiman reducciones entre el 28 y 68%. De la diversidad de géneros fitopatógenos están *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Ditylenchus* sp., *Heterodera* sp., *Tylenchus* sp. [5]. Al ser de tamaño reducido (0,2 mm), y completar su ciclo de vida bajo el suelo, sus principales daños a nivel radical son de difícil diagnóstico en las primeras etapas de infección. En etapas avanzadas, producen obstrucción de vasos e impiden la absorción de sustancias por las raíces, observándose necrosis radical, clorosis, enanismo, amarillamiento de partes aéreas, menor desarrollo de la planta y pérdida significativa de frutos, y en casos extremos, la muerte de la planta. Por lo general, interaccionan con otros patógenos, mediante las heridas facilitando la entrada de bacterias, hongos y virus.

En tomate se reconocen los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus* y *Nacobbus* como los más dañinos [6], de los cuales el género que ocasiona mayores pérdidas en la producción lo constituye *Meloidogyne*, conocido como nematodo agallador de las raíces, ya que su forma de expresión es la producción de abultamientos típicos radicales en forma de agallas. *Meloidogyne* es uno de los géneros de mayor importancia económica y comprende más de 80 especies diferentes con un amplio rango de plantas huésped (más de 5000 especies de plantas) y una distribución mundial [7].

Algunas especies de *Meloidogyne* detectadas en Costa Rica son *incognita*, *javanica*, *hapla*, *salasi*, *fallax* y *chiwoodi*, suponiéndose que éstas últimas ingresaron al país con material vegetativo contaminado, pero por sus características morfológicas muy similares, las especies de *Meloidogyne* presentan problemas en el momento de la identificación. A pesar de la presencia de estos nematodos en varios hospederos y del daño potencial que ocasionan, la información cuantificable de los daños que provocan prácticamente es inexistente [8].

Según Fernández y Quesada [9], el cultivo del tomate se encuentra en asocio con las especies de *Criconemella* sp., *Helicotylenchus* sp., *Hemicycliophora* sp., *Meloidogyne hapla*, *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Pratylenchus* sp., *Trichodorus* sp.

En la Zona Occidental de Costa Rica, muchas de las plantaciones temporales de tomate, son establecidas en monocultivo o en asocio a café (*Coffea arabica*), aprovechando las condiciones de suelo, manejo y disponibilidad de zonas agrícolas. La necesidad de ampliar horizontes con el fin de que el agricultor reciba mejores beneficios económicos, ha transformado este tipo de cultivos en explotaciones altamente tecnificadas, demandantes de insumos externos y productos sintéticos, de altos costos y peligros ambientales, principalmente en zonas rurales.

La identificación precisa de los nematodos es esencial para desarrollar cualquier estudio fitosanitario y comprender el efecto que causan en los cultivos y el entorno donde se desarrollan. Además, la determinación de los niveles críticos y los umbrales de acción permite contar con varios parámetros para un manejo adecuado, establecer estrategias de manejo y control adecuadas, buscando un manejo más sostenible.

Por tanto, esta investigación se realizó con el objetivo de analizar el comportamiento de distintas especies de nematodos presentes en el cultivo del tomate convencional en dos sistemas de cultivo en la Zona Central Occidental de Costa Rica.

Materiales y Métodos

El área de investigación se desarrolló en los cantones de Grecia (Rincón de Arias) y Heredia (Santa Rosa) de la Región Occidental de Costa Rica (cuadro 1), entre los meses de setiembre 2012 y febrero de 2013. Como práctica agrícola, los agricultores, establecen el cultivo de tomate entre las hileras del cafetal recién podado con el fin de aprovechar el espacio dentro de las plantaciones, brindando el mantenimiento necesario a los cafetales y al cultivo del tomate.

Las áreas muestreadas fueron plantaciones de tomate en monocultivo y en asocio con café, en las cuales utilizaban riego por goteo mediante el cual se le suministraba semanalmente el paquete fitosanitario de fertilizantes y plaguicidas al suelo. Para el control de nematodos se usa normalmente el nematicida oxamil (24 SL, 2-5 litros/ha), el cual se recomienda su aplicación entre los 25 y 30 días después del trasplante. A nivel de follaje, el manejo sanitario se realizó en forma preventiva mediante aplicaciones con aspersores y mangueras provenientes del pulverizador hidráulico acoplado al tractor.

La plantación de tomate en monocultivo fueron áreas de barbecho, mientras que la plantación de café, presentaba un ciclo de poda de renovación. Las áreas muestreadas se referenciaron mediante sistemas de posicionamiento geográfico (GPS).

Muestreo de campo

Se recolectaron muestras de suelo y raíces, desde uno y hasta seis meses después del trasplante, a una profundidad de 20 centímetros. Las muestras recolectadas, se acondicionaron en bolsas plásticas con la debida rotulación, y transportadas para el posterior análisis al Laboratorio de Nematología del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Santa Clara (Costa Rica).

Análisis de muestras en Laboratorio

Cada muestra de campo se mezcló y homogenizó, para la cuantificación, determinación e identificación de las poblaciones juveniles y adultos de los fitonematodos. Las muestras de suelo y raíces se procesaron por el método de centrifugación-flotación [10].

Sintomatología radical

Se pesaron y lavaron 25 gramos de raíces con agua limpia sobre una malla para evitar la pérdida radical, posteriormente se determinó la escala radical (cuadro 2).

Cuadro 1. Características generales y grado de asocio de las fincas tomateras consideradas en la investigación. Costa Rica, 2012-2013.

Características de las fincas	Grecia	Heredia
Ubicación	Rincón de Arias	Santa Rosa
Altura sobre el nivel del mar (msnm)	950	1118
Precipitación anual (mm)	2491	2500
Temperatura promedio (°C)	20	25,6
Coordenadas	10°4' N, 84°18' O	09°58' N, 84°05' O
Trasplante cultivo	7 agosto 2012	17 agosto 2012
Aplicación de oxamil (24 SL)	11 setiembre 2012	1 setiembre 2012
Asociación	Tomate y Café Parcela 1 (sin oxamil), Parcela 2 (con oxamil)	Tomate en monocultivo (Parcela 3)

Cuadro 2. Sintomatología radical del cultivo utilizando la evaluación del índice de severidad de agallas (Adaptado de Baker [11]).

Escala	Criterio de Agallamiento	Sintomatología (%)
0	Raíz sana	Raíz sana
1	Muy leve	1 al 10
2	Leve	11 al 20
3	Media	21 al 40
4	Moderada	41 al 70
5	Alta	71 al 90
6	Extrema	91 al 100

Análisis de muestras de raíces

Las raíces se lavaron y cortaron en trozos pequeños. Se pesaron 25 gramos y licuaron en dos tiempos de 10 segundos, a velocidad lenta y rápida. La separación final de los nematodos se realizó decantando la solución obtenida sobre un juego de cribas superpuesto de 100 y 400 mallas. El material contenido en la criba de 400 mallas fue centrifugado por 5 minutos a 3000 rpm, después de descartar el sobrenadante se resuspendió el precipitado en solución azucarada (1,18 de gravedad específica) y se centrifugó nuevamente por 5 minutos a 3000 rpm.

El sobrenadante conteniendo los nematodos se decantó sobre una criba de 400 mallas, lavándose el exceso de azúcar con suficiente agua. Finalmente se procedió a colectar los nematodos del tamiz lavando con la ayuda de una piceta, aforando la muestra a 10 ml de los cuales se colocaron 3 ml en una placa cuenta nematodos (tipo Neubauer).

Análisis de muestras de suelo

Las muestras fueron homogenizadas y submuestras de 100 gramos fueron colocadas en un balde y se les realizaron dos lavados seguidos de un minuto de suspensión cada uno.

La separación final de los nematodos se realizó decantando la solución obtenida sobre un juego de cribas superpuesto de 100 y 400 mallas. El material contenido en la criba de 400 mallas fue centrifugado por 5 minutos a 3000 rpm, después de descartar el sobrenadante se resuspendió el precipitado en solución azucarada (1,18 de gravedad específica) y se centrifugó nuevamente por 5 minutos a 3000 rpm.

El sobrenadante conteniendo los nematodos se decantó sobre una criba de 400 mallas, lavándose el exceso de azúcar con suficiente agua. Finalmente se procedió a coleccionar los nematodos del tamiz lavando con la ayuda de una piceta, aforando la muestra a 10 ml de los cuales se colocaron 3 ml en una placa cuenta nematodos (tipo Neubauer).

Identificación de nematodos

En ambos procesos de extracción, los nematodos fueron cuantificados con la ayuda de un microscopio invertido (40x), e identificados con la ayuda de claves dicotómicas de Mai *et al.* [12], el Manual de Fitopatología de Marbán [13], Manual de identificación de géneros de nematodos importantes en Costa Rica de Esquivel [10], Manual de Laboratorio de Nematodos de Plantas de Zuckerman *et al.* [14], y el Índice Ilustrado de los descriptores de nematodos parásitos de plantas del Commonwealth Institute of Helminthology [15].

Dinámicas Poblacionales

Se muestreó mensualmente las fincas de tomate seleccionadas. En cada una de las áreas se recolectó suelo y material radical de plantas que muestren alguna sintomatología (poco desarrollo, clorosis, agallas radicales, etc.) así como de plantas aparentemente sanas. A nivel radical se analizó esta sintomatología utilizando inicialmente las raíces sanas y funcionales, así como daños a nivel radical los cuales fueron cuantificados mediante la elaboración de escalas de severidad asociadas a cada sintomatología. Con los valores poblacionales se elaboraron las gráficas de dinámicas respectivas.

Resultados

En esta investigación, tanto en suelo como en raíces de tomate se identificaron las especies de fitonematodos *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides*, *Pratylenchus* y *Aphelenchus*. Se consideran de mayor importancia *Meloidogyne* y *Helicotylenchus*, por sus niveles poblacionales a lo largo del ciclo del cultivo.

Sintomatología radical

Los daños a nivel radical en el cultivo del tomate fueron evaluados usando el índice de severidad de agallas. En el cuadro 3, se aprecia que desde el tercer mes después del trasplante se empiezan a dar evidencia de la presencia de agallas radicales. Las parcelas en las cuales estaba asociado el tomate con café presentaron los mayores niveles de agallas (hasta del 90%), mientras que la parcela del tomate en monocultivo no presentó agallas ni poblaciones de *Meloidogyne* durante el periodo de evaluación. Esta ausencia de agallas se puede asociar al periodo en barbecho (cerca de 3 años) existente antes de la siembra del monocultivo, siendo predominantes las malezas gramíneas.

Este aumento del agallamiento, se puede atribuir a la pérdida de la efectividad del nematicida químico en el tiempo, ya que estos valores se incrementan cerca de 4 meses después del trasplante (3 meses después de la aplicación en el sistema de riego por goteo).

Cuadro 3. Porcentaje de agallas radicales en plantaciones de tomate en monocultivo y en asocio con café. Costa Rica, 2012-2013.

Criterio / Parcela	Porcentaje de agallamiento (peso raíces agalladas/peso total raíces)							
	mdt *		4 mdt		5 mdt		6 mdt	
	%	Escala	%	Escala	%	Escala	%	Escala
Parcela 1 (sin oxamil, tomate asociado con café)	0,05	0	30	3	90	5	90	5
Parcela 2 (con oxamil, tomate asociado con café)	0,05	0	90	5	17	2	90	5
Parcela 3 (tomate en monocultivo)	0,05	0	0	0	0	0	0	0

*: mdt (meses después del trasplante). Evaluación 1 y 2 mdt no presentaron agallamiento.

Dinámicas poblacionales

A continuación, se presentan los resultados de la identificación y cuantificación de los principales nematodos observados en el cultivo del tomate.

Primer muestreo, 1 mes después del trasplante

En esta fecha, sólo la finca establecida con tomate en asocio con café (Parcela 1 y 2) en Grecia, estaba en edad fenológica para realizar las extracciones de nematodos.

En las muestras extraídas de suelo, se aprecia que las áreas aplicadas con nematicida presentaron menores poblacionales para los nematodos *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides*, *Pratylenchus* y *Aphelenchus* comparadas con las áreas sin aplicación (figura 1).

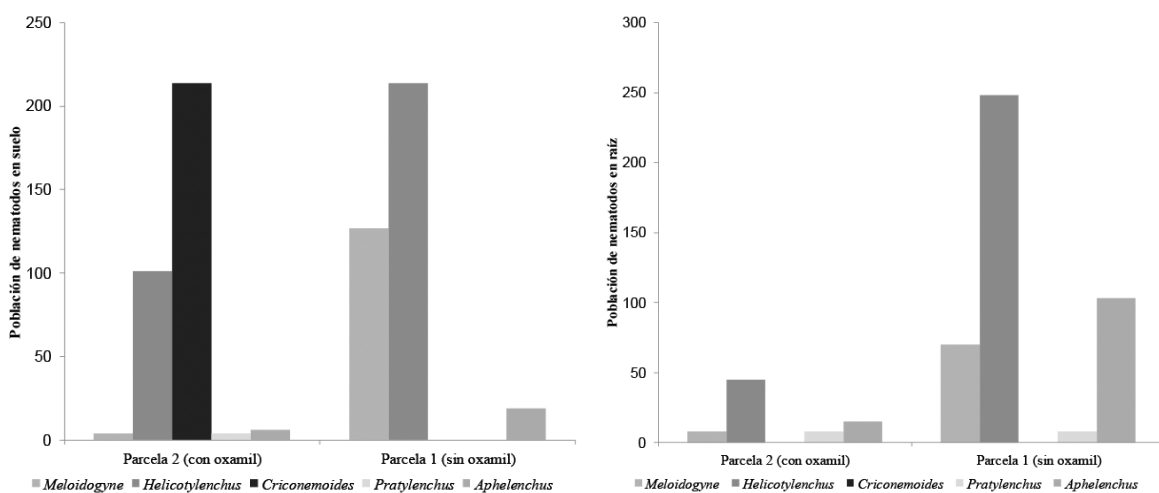


Figura 1. Poblaciones de nematodos presentes en suelo y raíces de plantaciones de tomate. Un mes después del trasplante. Setiembre 2012.

En raíces, se presenta un comportamiento similar a los nematodos de suelo, excepto con *Criconemoides*, en la cual no se encontraron nematodos en las áreas muestreadas (figura 1).

Segundo muestreo, 2 meses después del trasplante

Ambas fincas presentaron poblaciones importantes de fitonematodos. *Helicotylenchus*, al ser ectoparásito le da mayor sobrevivencia por su movilidad ya que incluso en las áreas con aplicaciones de nematicidas y la poca residualidad del plaguicida en el suelo, hace que las poblaciones puedan incrementarse. El efecto del nematicida sistémico provoca que, a nivel interno de las raíces, las cantidades de nematodos tiendan a reducirse en niveles importantes, creando un efecto de control al menos por un periodo de un mes (figura 2).

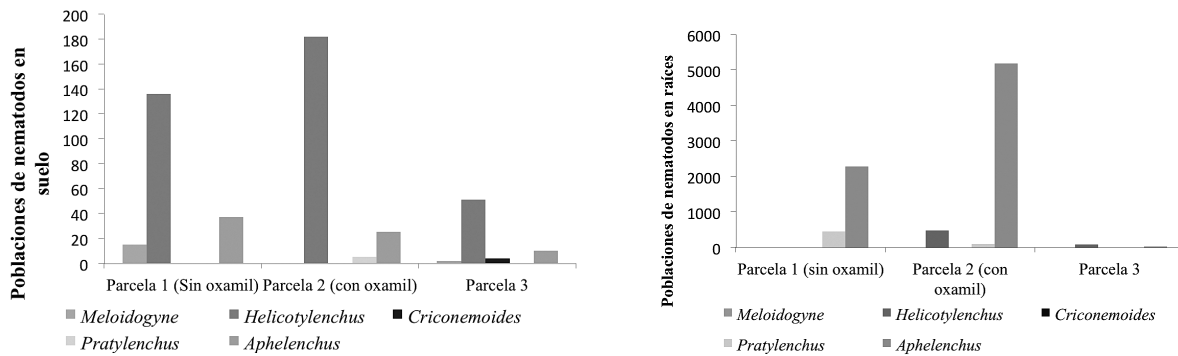


Figura 2. Poblaciones de nematodos presentes en suelo y raíces de plantaciones de tomate. Dos meses después del trasplante. Octubre 2012.

En las muestras de raíces (figura 2), las poblaciones de *Aphelenchus* y *Helicotylenchus* se presentan por encima de los otros géneros de nematodos, a pesar de que las cantidades de raíces funcionales no sean muy altos.

Tercer muestreo, 3 meses después del trasplante

En esta etapa, se había iniciado la cosecha de los frutos y es normal que las plantas necesiten más requerimientos de nutrición y agua, principalmente. El aumento en la cantidad de raíces, crea el espacio necesario para que se incrementen considerablemente las poblaciones de nematodos. En la figura 3 se aprecia que las poblacionales de *Helicotylenchus* a nivel de suelo han aumentado sustancialmente respecto al mes anterior, sin embargo no ha sido similar con los otros nematodos.

A nivel de suelo, la parcela con oxamil (Parcela 1), presenta 597 individuos de *Helicotylenchus* y 90 de *Meloidogyne*. Mientras que la parcela 2 al encontrarse sin cobertura boscosa cercana, y al estar completamente expuesta a la radiación solar, se crea un ambiente en la cual puede darse un aumento leve de poblaciones de nematodos.

En el muestreo de raíces, las poblaciones de *Helicotylenchus* están bastante elevadas (7.488) en las áreas de que se utilizó nematicida químico comparadas con los otros nematodos, en especial *Meloidogyne*, nematodo de mayor importancia en el cultivo del tomate (figura 3).

Cuarto muestreo, 4 meses después del trasplante

Los niveles de fitonematodos en suelo han aumentado respecto al muestreo anterior, posiblemente por la pérdida del efecto nematicida, aunado al uso de las enmiendas aplicadas con el riego por goteo. Las poblaciones de *Helicotylenchus* en suelo se encuentran en mayor cantidad en las parcelas sin aplicación de nematicida (234 individuos), comparadas con las parcelas con nematicida (63) y tomate sin asocio (51) (figura 4).

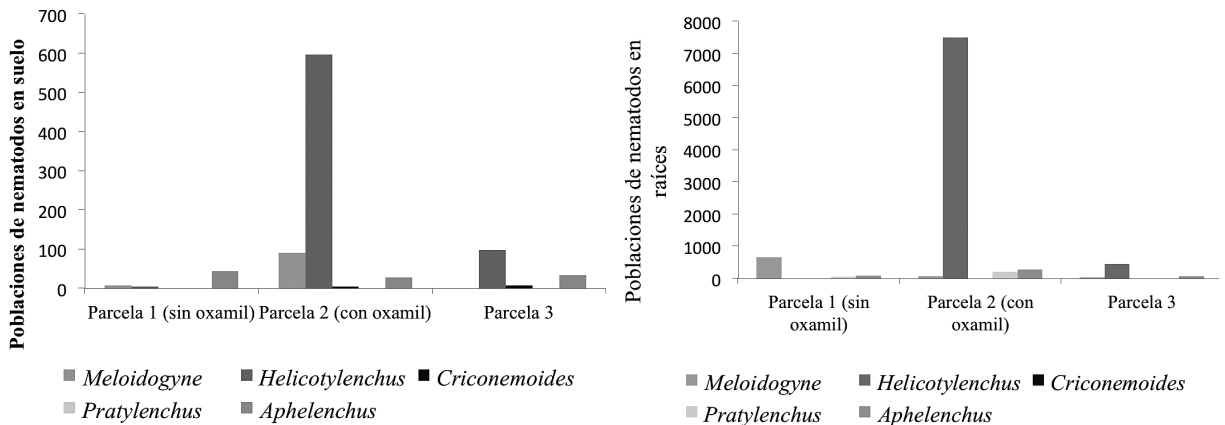


Figura 3. Poblaciones de nematodos presentes en suelo y raíces de plantaciones de tomate. Tres meses después del trasplante. Noviembre 2012.

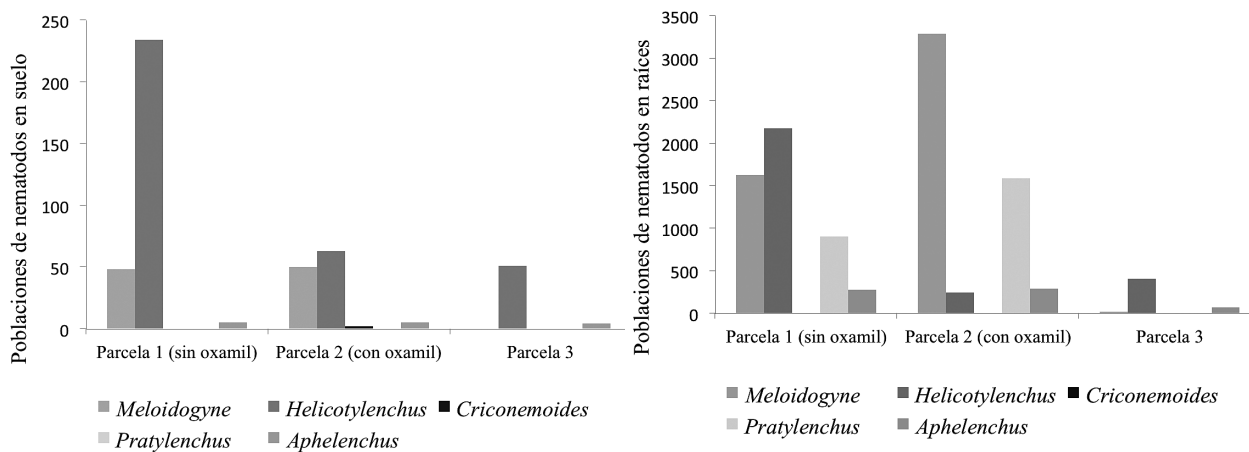


Figura 4. Poblaciones de nematodos presentes en suelo y raíces de plantaciones de tomate. Cuatro meses después del trasplante. Diciembre 2012.

En este muestreo se cuantificó una cantidad de nematodos en raíces mayor que el mes anterior (Parcela 2, con oxamil), pero disminuyó en la Parcela 1 (sin oxamil) y Parcela 3 (cultivo solo) posiblemente al reducirse el efecto del nematicida. Los niveles de nematodos en raíces en Parcela 3 (tomate en monocultivo), no presentan valores considerables de nematodos.

Quinto muestreo, 5 meses después del trasplante

Los niveles poblacionales de *Meloidogyne* se incrementaron debido a ser unas de las últimas etapas de cosecha y la consecuente disminución del manejo de plagas. A nivel de suelo (figura 5), en las parcelas sin nematicida se determinaron 3.100 individuos, mientras que las áreas con nematicidas se cuantificaron 220.

En raíces se determinaron 10444 individuos de *Meloidogyne* en parcelas sin nematicida y de 993 en parcelas con nematicida. Las poblaciones de nematodos en la parcela de tomate sin asocio son muy bajas (figura 5).

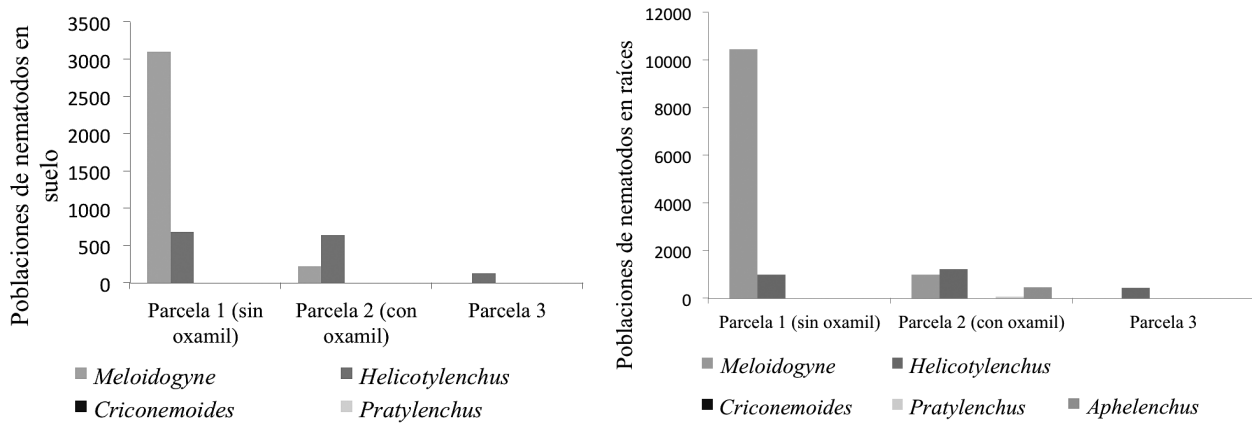


Figura 5. Poblaciones de nematodos presentes en suelo y raíces de plantaciones de tomate. Cinco meses después del trasplante. Enero 2013.

Sexto muestreo, 6 meses después del trasplante

Para este muestreo, las prácticas agronómicas en el cultivo se han reducido debido a que el pico de producción ya fue superado, y no justifica realizar manejo de plagas y fertilización.

A partir de esta fecha, los niveles poblacionales de *Meloidogyne* tanto en suelo como en raíces de la Parcela 1 se incrementaron considerablemente. En suelo se determinaron 7300 y 2800 individuos en las parcelas sin (Parcela 1) y con (Parcela 2) oxamyl, respectivamente. En raíces se cuantificaron 59200 individuos en las parcelas sin nematicidas (Parcela 1), y 68467 individuos en las parcelas con nematicidas (Parcela 2) (figura 6).

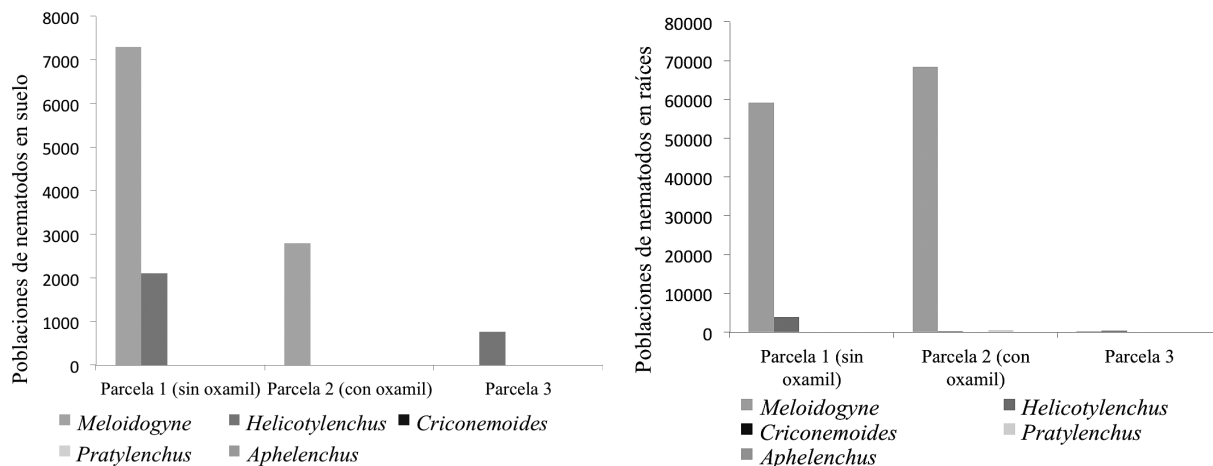


Figura 6. Poblaciones de nematodos presentes en suelo y raíces de plantaciones de tomate. Seis meses después del trasplante. Febrero 2013.

En la parcela de tomate en monocultivo, se cuantificaron poblaciones de 52 individuos de *Meloidogyne* y 392 *Helicotylenchus*.

La finca en la cual el cultivo del tomate se estableció sin asocio, presentó cantidades de nematodos relativamente bajas comparados con las parcelas en asocio con café.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación se puede analizar que:

1. La aplicación de nematicidas mantiene bajos los niveles de nematodos por espacio de 2 meses, especialmente *Meloidogyne*.
2. Los niveles de agallas en las parcelas con tomate en asocio fueron del 90%, por el efecto de las poblaciones de *Meloidogyne*. La parcela del tomate en monocultivo no presentó agallas, por un posible efecto del barbecho al romper el ciclo biológico de los nematodos.
3. Las especies de fitonematodos identificadas tanto en suelo como en raíces de tomate fueron *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Criconemoides*, *Pratylenchus* y *Aphelenchus*.
4. En los muestreos de suelo sin aplicación de nematicidas, a partir del cuarto mes después del trasplante las poblaciones de *Meloidogyne* y *Helicotylenchus* aumentan considerablemente de 48 individuos a 7300, y de 234 a 2100, respectivamente.
5. En las muestras de suelo con aplicación de nematicidas, a partir del cuarto mes después del trasplante las poblaciones de *Meloidogyne* aumentan de 50 individuos a 2800, mientras que *Helicotylenchus* disminuye de 263 a 0.
6. En las muestras de raíces de tomate sin nematicidas, a partir del cuarto mes después del trasplante las poblaciones de *Meloidogyne* y *Helicotylenchus* aumentan considerablemente de 1625 individuos a 59200, y de 2175 a 3800, respectivamente.
7. En raíces con aplicación de nematicidas, a partir del cuarto mes después del trasplante estos valores poblacionales de *Meloidogyne* de 3288 individuos a 68467; en el caso de *Helicotylenchus* disminuye de 240 a 67.
8. Las áreas de suelo en el cultivo del tomate en monocultivo, a partir del cuarto mes después del trasplante no presentan poblaciones de *Meloidogyne* y para *Helicotylenchus* varía de 97 individuos a 123.
9. En las áreas de raíz en el cultivo del tomate en monocultivo, a partir del cuarto mes después del trasplante las poblaciones de *Meloidogyne* varían de 17 a 52 individuos, y para *Helicotylenchus* de 405 a 392.

Recomendaciones

Por la existencia de pocos estudios sobre el comportamiento poblacional, conviene extender estos estudios por al menos tres ciclos de cultivo en diversas zonas cultivables.

Establecer parcelas de monitoreo en campo a través del tiempo para establecer los niveles poblacionales en áreas de monocultivo de tomate, y en áreas cultivadas de café en asocio con tomate.

Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura y Ganadería, «Agrocadena de Tomate,» de *Agrocadena de Tomate*, San José, MAG, 2009, p. 80.
- [2] Ministerio de Agricultura y Ganadería, « <http://www.infoagro.go.cr>,» 6 junio 2016. [En línea]. Available: [http://www.infoagro.go.cr/AgroNoticias/Paginas/Exportación de chile y tomate.aspx](http://www.infoagro.go.cr/AgroNoticias/Paginas/Exportación%20de%20chile%20y%20tomate.aspx) .
- [3] R. Sikora y E. Fernández, «Nematode Parasites of Vegetables,» de *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, UK, CABI Publishing, 2005, pp. 319-392.

- [4] M. Hassan, P. Chindo, P. Marley y M. Alegbej, «Management of root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) using organic wastes in Zaria, Nigeria,» *Plant Protect Sci*, vol. 46, n° 1, pp. 34-38, 2010.
- [5] Meister Media Worldwide, *Plagas y Enfermedades: Guía de Identificación y Manejo del Tomate*, North Caroline: North Caroline State University, 2009.
- [6] Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, *Guía para el Manejo Integrado de Plagas en el cultivo del Tomate*, Turrialba: CATIE, 1990.
- [7] G. Karssen y M. Moens, «Root-knot nematodes,» de *Plant Nematology*, Cambridge, CABI, 2006, pp. 59-89.
- [8] F. Ramírez, F. Chaverri, E. Cruz, C. Wesselling, L. Castillo y V. Bravo, *Importación de Plaguicidas en Costa Rica: Periodo 2007-2009*, Heredia: Universidad Nacional de Costa Rica, 2009.
- [9] O. Fernández y A. Quesada, «<https://www.sfe.go.cr>,» Servicio Fitosanitario del Estado, 2013. [En línea]. Available: [https://www.sfe.go.cr/tramites/Nematodos asociados a los Cultivos de CostaRica.pdf](https://www.sfe.go.cr/tramites/Nematodos%20asociados%20a%20los%20Cultivos%20de%20CostaRica.pdf). [Último acceso: 20 febrero 2014].
- [10] A. Esquivel, «Manual de identificación de géneros de nematodos importantes en Costa Rica,» Heredia, Universidad Nacional de Costa Rica, 2005, p. 50.
- [11] K. Baker, «Nematode extraction and bioassays,» de *Methodology*, North Caroline University Graphics, 1985, pp. 19-23.
- [12] W. Mai, P. Mullin, H. Lyon y K. Loeffler, *Plant parasitic nematodes: a pictorial key to genera*, Ithaca: Cornell University Press, 1996, p. 269.
- [13] N. Marbán, *Fitonematología: Manual de Laboratorio*, Turrialba: CATIE, 1987.
- [14] B. Zuckerman, W. Mai y L. Krusberg, *Plant Nematology Laboratory*, México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1990.
- [15] Commonwealth Institute of Helminthology, *Descriptions of Plant-parasitic Nematodes*. CAB International, Wallingford, UK, Wallingford, UK: CAB International, 1972.

Caracterización de frutos de cinco genotipos de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] en Costa Rica

Fruit characterization of five genotypes of tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] in Costa Rica

José Eladio Monge-Pérez¹, Michelle Loría-Coto

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2016

Fecha de aprobación: 8 de febrero de 2017

Monge-Pérez, J; Loría-Coto, M. Caracterización de frutos de cinco genotipos de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] en Costa Rica *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 71-84.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3274



- 1 Costarricense, ingeniero agrónomo. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno y Sede de Guanacaste, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: melonescr@yahoo.com.mx.
- 2 Costarricense, economista agrícola. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. Correo electrónico: michelle_loria@yahoo.com.

Palabras clave

Tacaco; *Sechium tacaco*; genotipos; peso del fruto; número de espinas; sabor; suturas longitudinales del fruto.

Resumen

Se caracterizaron los frutos de cinco genotipos de tacaco de alta calidad en Costa Rica, tanto a nivel cualitativo (tres variables) como cuantitativo (10 variables). Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre genotipos en el caso de las variables cuantitativas. Los datos muestran una amplia variabilidad en cuanto al peso del fruto (31,55 – 40,30 g), longitud del fruto (57,36 – 63,61 mm), ancho del fruto (39,72 – 41,57 mm), grosor del fruto (28,01 – 30,40 mm), número de suturas longitudinales completas del fruto (5,11 – 5,61), número de suturas longitudinales incompletas del fruto (0,22 – 1,61), número de espinas del fruto (0 – 22,36), relación largo/ancho del fruto (1,42 – 1,53), relación largo/grosor del fruto (1,92 – 2,21), y relación ancho/grosor del fruto (1,36 – 1,45). Estos genotipos pueden ser buenas opciones para los productores y los consumidores que demandan frutos de tacaco de alta calidad. En la presente investigación se informa por primera vez sobre la existencia de frutos de tacaco con seis y siete suturas longitudinales completas, y con entre dos y cinco suturas longitudinales incompletas, lo que representa un hallazgo que puede ilustrar los cambios evolutivos recientes de esta especie.

Keywords

Tacaco; *Sechium tacaco*; genotypes; fruit weight; number of spines; taste; fruit longitudinal sutures.

Abstract

Tacaco fruits of five high quality genotypes were characterized in Costa Rica, both at qualitative (three variables) and quantitative (10 variables) levels. There were statistically significant differences between genotypes for quantitative variables. Data show a wide variability with respect to fruit weight (31,55 – 40,30 g), fruit length (57,36 – 63,61 mm), fruit width (39,72 – 41,57 mm), fruit thickness (28,01 – 30,40 mm), number of complete fruit longitudinal sutures (5,11 – 5,61), number of incomplete fruit longitudinal sutures (0,22 – 1,61), number of fruit spines (0 – 22,36), fruit length/width ratio (1,42 – 1,53), fruit length/thickness ratio (1,92 – 2,21), and fruit width/thickness ratio (1,36 – 1,45). These genotypes could be good choices for growers and consumers that demand high quality tacaco fruits. This is the first notice about the existence of tacaco fruits with six and seven complete longitudinal sutures, and with two to five incomplete longitudinal sutures; this could illustrate the recent evolutive changes of this species.

Introducción

El tacaco es una especie vegetal que presenta una planta herbácea, trepadora, anual y monoica; pertenece a la familia Cucurbitaceae y es de interés alimenticio. Su nombre científico actual es [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey], aunque inicialmente se le nombró como *Polakowskia tacaco* por Pittier en 1910, y luego fue cambiado a *Frantzia tacaco* por Wunderlin en 1976 [1], [2].

El centro de origen del tacaco es Costa Rica, pues además de que es en este país donde crece su pariente silvestre más cercano, *S. talamancensis*, es también el único país en donde se sabe que la especie es y ha sido cultivada; es decir, que la distribución geográfica del tacaco se circunscribe únicamente al territorio costarricense [2], [3]. El tacaco es una de las dos únicas especies endémicas de Costa Rica, junto con la cabuya, *Furcraea cabuya* [4]. Por lo tanto, a juicio de los autores, el tacaco debe considerarse un patrimonio natural de Costa Rica.

Entre el año 2001 y el 2010, la cantidad de tacaco comercializado en el CENADA (principal mercado mayorista de hortalizas de Costa Rica) varió entre 32160 y 66050 kg por año; el valor total del tacaco comercializado en ese período osciló entre 8,8 y 36,2 millones de colones por año; la procedencia de ese producto durante todos los años mencionados correspondió en un 100 % al cantón de Paraíso, en Cartago. La oferta de tacaco se presentó en todos los meses del año para todos los años; el precio promedio osciló entre 275 colones/kg en el 2002, y 1080 colones/kg en el 2009 [5].

El cultivo del tacaco se practica preferentemente en zonas con altitudes entre 1000 y 1700 msnm, y es posible realizarlo prácticamente en cualquier época del año [2]. Sin embargo, también se han observado plantas de tacaco con excelentes producciones en Alajuela centro (914 msnm) (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar) y Puente de Piedra de Grecia (800 msnm aproximadamente) [6]. En 1992 se tenía información sobre la presencia de tacaco únicamente en el Valle Central (Oriental y Occidental) y en la región Brunca (Pérez Zeledón y Coto Brus) de Costa Rica [1]. Sin embargo, recientemente se conoce también sobre su presencia en la zona alta de la Cordillera de Tilarán, en Cedral de Montes de Oro, a unos 800-1000 msnm [7], así como en Monteverde, Puntarenas, y en las zonas altas del cantón de Tilarán, Guanacaste (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar), y también en la zona montañosa de la Península de Nicoya, en Quebrada Grande de Nandayure, Guanacaste, aproximadamente a unos 500 msnm [8]. Asimismo, hay evidencia de que algunos costarricenses han llevado el cultivo a la zona de Volcán, provincia de Chiriquí, Panamá (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar).

Los frutos de tacaco se consumen ya sea como verdura cocida en sopas, en picadillo, en encurtidos y en miel, simplemente hervidos como bocadillo, y principalmente son muy apreciados como parte fundamental del guiso tradicional costarricense llamado “olla de carne” [1], [2]. Las hojas se usan en la elaboración de albóndigas y tortas a base de carne molida. Del fruto tierno se consumen todas las partes, incluyendo la cáscara y la semilla, mientras que del fruto maduro estas últimas son removidas [9]. El fruto tierno se puede consumir “picado” con arroz, en “arroz guacho”, en sopas, y como minivegetal en ensaladas [10]. El tacaco supera en contenido proteico y de fósforo a otras cucurbitáceas como chayote, pepino, melón, sandía y zucchini [1], [9].

El tacaco es un cultivo de huerto, solar o traspatio, de tal forma que sus plantaciones son pequeñas y la producción está destinada principalmente al autoconsumo, y sólo en algunos casos en los que se logran generar ciertos excedentes, estos son comercializados en los mercados [2], lo cual sucede principalmente en la zona de La Flor y El Yas de Paraíso, Cartago, Costa Rica (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar).

La época de mayor producción de tacaco en Costa Rica comprende desde agosto hasta diciembre, aunque se puede prolongar hasta marzo [2].

En los frutos sazones, el epicarpo (cáscara) es duro y se remueve después del proceso de cocción, y el mesocarpo está constituido de tejido parenquimatoso cargado de gránulos de almidón, y presenta en algunos tipos una red de fibras muy desarrolladas (llamada “estopa”) que acompañan a los elementos vasculares y que lo atraviesan en distintas direcciones, lo que reduce su calidad culinaria. Las semillas maduras presentan sabor amargo por lo que debe evitarse su consumo [1], [11].

Según diversos investigadores, el tamaño del fruto varía entre 4,0 y 7,0 cm de largo, entre 3,0 y 4,5 cm de ancho, y entre 1,5 y 3,0 cm de grosor; el peso de los frutos varía entre 22,7 y 42,2 g; y en los genotipos con espinas, la cantidad de espinas por fruto varía entre 16 y 26 [12], [1], [13], [11], [14], [15], [16], [10]. Además, diversos autores mencionan que el fruto presenta únicamente cinco suturas longitudinales (o surcos) [12], [3], [13], [11], [2].

Se ha informado de una tendencia de reducción en la longitud, ancho, grosor y peso de los frutos conforme transcurren las semanas de producción; además, la cantidad de espinas es menor al inicio de la cosecha y tiende al aumento hasta la octava semana de cosecha, después de la cual decrece ligeramente [16].

No se conocen variedades comerciales de tacaco [17]. El estado semisilvestre de su domesticación y la limitada importancia económica de la planta ha sido obstáculo para el impulso de investigaciones agronómicas y fitogenéticas. Además, la carencia de recomendaciones técnicas y de variedades superiores ocasiona que los agricultores potenciales de esta especie no se arriesguen a producir [18]. El tacaco se cultiva generalmente como un componente de los huertos mixtos, y existe poca investigación sobre su manejo agronómico con fines comerciales [15].

Según un investigador, algunas plantas tienden a producir frutos sin espinas, y estos suelen estar asociados con un bajo contenido de fibra en el mesocarpo (“estopa”) [11]. Otro autor informó que existen cuatro tipologías básicas del fruto: con espinas y con estopa, con espinas y sin estopa, sin espinas y con estopa, y sin espinas y sin estopa [12]. También se conoce la existencia de variabilidad en cuanto a otros caracteres del fruto como tamaño, distribución de las espinas y sabor [1].

Algunos productores de tacaco consideran que las espinas dificultan los procesos de cosecha, empaque y limpieza del fruto, por lo que prefieren materiales con pocas espinas o sin ellas, pero otros agricultores prefieren los tacacos con espinas, debido a que consideran que tienen una mayor productividad [10]. Sin embargo, hasta el momento no se han realizado investigaciones sobre la relación entre presencia o ausencia de espinas, y la productividad del tacaco.

Desde 1991, se consideraba que el tacaco, el único aporte de Costa Rica a la cultura agrícola mundial, estaba a punto de desaparecer ante la imposición de prácticas productivas que privilegiaban los cultivos exportables y los cambios en los hábitos de consumo [19]. En ese momento esta hortaliza se conseguía esporádicamente en los mercados locales y su cultivo solía estar ligado a las áreas de pobreza, pues su cotización en los mismos era baja, y fuera del país era prácticamente desconocido. Por lo tanto, su importancia económica era virtualmente nula. También se consideraba que el tacaco en Costa Rica era una víctima de los cambios productivos y que podría desaparecer como producto alimenticio disponible en el país [19]. A juicio de los autores, esta amenaza sigue estando presente hoy en día.

En 1992 ya se consideraba la posibilidad de que se estuviera perdiendo variabilidad genética en tacaco, debido al efecto de algunos factores como el desconocimiento sobre la existencia de recursos vegetales originarios del país, la destrucción de bosques, el menosprecio a los cultivos autóctonos, y la falta de tecnología en el cultivo y utilización de esta planta. En ese momento se identificaron los siguientes obstáculos existentes para la promoción del cultivo del tacaco: actitud cultural de menosprecio a los recursos autóctonos (cambio cultural), la dificultad en la propagación de la especie, el desconocimiento sobre la existencia de variedades de reconocida calidad superior, y la falta de investigación en cuanto a aspectos agronómicos [1].

El objetivo de esta investigación fue caracterizar los frutos de cinco genotipos de tacaco con buenas características de calidad, colectados en diversas regiones de Costa Rica.

Materiales y métodos

En una primera etapa se visitaron varias zonas de Costa Rica entre junio y julio de 2013, con el fin de identificar diferentes genotipos de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey]. Los cantones o sitios visitados fueron: Tilarán, Puntarenas, Abangares, Liberia, Bagaces, Nicoya, Santa Cruz, Cañas, Monteverde, San Carlos, Zarcerro, San Ramón, Palmares, Naranjo, Valverde Vega, Poás, Grecia, Alajuela, San Carlos, Cartago, Paraíso, Turrialba, Dota, Tarrazú, Pérez Zeledón y Coto Brus.

Como conclusión de la primera etapa, se reconocieron nueve genotipos, de los cuales se seleccionaron los cinco que presentaron las mejores características de calidad, especialmente buen sabor, y poca o nula presencia de fibras en el mesocarpo. Posteriormente, se realizó la colecta de frutos de esos cinco genotipos; se recolectaron entre 28 y 55 frutos sazones por genotipo. Las colectas se realizaron entre los meses de junio de 2013 y octubre de 2015, en los sitios descritos en el cuadro 1.

Se evaluaron las siguientes variables:

A. Cuantitativas:

1. Peso del fruto (g): se evaluó el peso de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio. Se utilizó una balanza electrónica marca Salter Brecknell, modelo PB500, con una capacidad de $500,0 \pm 0,1$ g.
2. Longitud del fruto (mm): se midió la longitud de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio. Para esta variable, así como para el ancho y grosor del fruto, se utilizó un calibrador electrónico marca Pittsburgh con una capacidad de $154,5 \pm 0,1$ mm.
3. Ancho del fruto (mm): se evaluó el ancho de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio.
4. Grosor del fruto (mm): se midió el grosor de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio.
5. Número de suturas longitudinales completas: se registró el número de suturas longitudinales completas de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio.
6. Número de suturas longitudinales incompletas: se registró el número de suturas longitudinales incompletas (que no llegan hasta alguno de los extremos del fruto) de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio.
7. Número de espinas: se registró el número total de espinas presentes en la cáscara de cada uno de los frutos colectados, y se obtuvo el promedio.
8. Relación largo/ancho del fruto: se obtuvo al dividir la longitud (en mm) entre el ancho (en mm) para cada uno de los frutos, y se obtuvo el promedio.
9. Relación largo/grosor del fruto: se obtuvo al dividir la longitud (en mm) entre el grosor (en mm) para cada uno de los frutos, y se obtuvo el promedio.
10. Relación ancho/grosor del fruto: se obtuvo al dividir el ancho (en mm) entre el grosor (en mm) para cada uno de los frutos, y se obtuvo el promedio.

B. Cualitativas:

Luego de evaluar las variables cuantitativas, se procedió a colocar 10 frutos de tacaco de cada genotipo en agua hirviendo durante 15 minutos, y luego se les quitó la cáscara y se separó la semilla, y con el mesocarpo se procedió a evaluar las siguientes características:

1. Presencia de fibras en el mesocarpo: Se evaluó la presencia o ausencia de fibras en el mesocarpo del fruto, al momento de consumirlo.
2. Consistencia del mesocarpo: Se evaluó la consistencia del mesocarpo del fruto, al momento de consumirlo.
3. Sabor del fruto: Se evaluó el sabor mediante una prueba de degustación (también llamada análisis sensorial), llevada a cabo por diez personas consumidoras de tacaco.

Para cada una de las variables cuantitativas se realizó una comparación entre las medias obtenidas por cada genotipo, por medio de una prueba de t de Student con una significancia de 5 %, para descartar o confirmar diferencias significativas entre ellos.

Cuadro 1. Sitios de recolección de los cinco genotipos de tacaco seleccionados.

Identificación	Lugar de recolección	Número de frutos evaluados	Coordenadas geográficas		Altitud (msnm)
			Latitud Norte	Longitud Oeste	
1	Escazú, San José	34	9° 54' 55,545"	84° 8' 3,581"	1147
2	El Yas de Paraíso, Cartago	28	9° 51' 41,433"	83° 49' 12,375"	1261
3	La Flor de Paraíso, Cartago	28	9° 52' 13,048"	83° 48' 28,142"	1264
7	San Isidro de Alajuela	55	10° 4' 49,061"	84° 11' 43,073"	1363
9	El Dos de Tilarán, Guanacaste	54	10° 22' 41,174"	84° 53' 57,627"	939

Resultados y discusión

En el cuadro 2 se presentan los datos para las variables cualitativas evaluadas. A pesar de que los cinco genotipos presentan un sabor aceptable, el genotipo 3 presentó una consistencia "hulosa" (o más firme) del mesocarpo, lo cual resulta menos agradable al paladar de los consumidores, en relación a la consistencia "harinosa" (o más suave y esponjosa). En la figura 1 se muestran los frutos de tres de los genotipos evaluados.

Cuadro 2. Características cualitativas de los frutos de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Presencia de fibras en el mesocarpo	Consistencia del mesocarpo	Sabor
1	Ninguna o muy poca	"Harinosa"	Muy bueno
2	Algo de fibra	"Harinosa"	Muy bueno
3	Poca	"Hulosa"	Aceptable
7	Ninguna o muy poca	"Harinosa"	Aceptable
9	Muy poca	"Harinosa", seca	Bueno

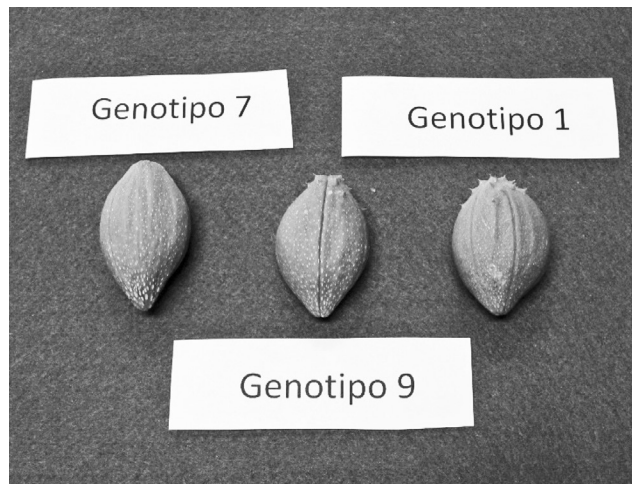


Figura 1. Frutos de tacaco de tres de los genotipos evaluados.

En el cuadro 3 se muestran los datos para el peso del fruto. Se presentan diferencias significativas entre genotipos para esta variable; el genotipo 1 es el que presenta los frutos con menor peso, y el genotipo 7 presenta los frutos con mayor peso. Los datos obtenidos por los genotipos 3 y 7 se encuentran por encima del rango de peso del fruto hallado por otros investigadores para esta característica, de entre 22,7 y 42,2 g [1], [14], [15], [16], [10], ya que presentaron algunos frutos con un peso de hasta 48,9 y 49,0 g; los valores obtenidos por los otros tres genotipos sí se ubicaron dentro del rango mencionado. Todos los cinco genotipos presentaron un peso promedio del fruto superior al informado por un investigador, de 27,2 g [13], y al informado por otro autor, de 29,6 g [14], para el tacaco.

Cuadro 3. Peso del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Peso del fruto (g)			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
1	31,55 a	25,9 – 39,3	31,15	12,28
9	34,04 b	25,7 – 41,4	33,80	10,73
2	35,44 bc	28,8 – 41,2	35,15	10,17
3	36,71 c	29,5 – 49,0	36,30	12,71
7	40,30 d	32,6 – 48,9	40,40	7,52

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

En el cuadro 4 se presentan los datos para la longitud del fruto. El genotipo 1 presenta los frutos con menor longitud, y el genotipo 7 los de mayor longitud; esto se relaciona directamente con el peso de los frutos. Estos datos se ubican dentro del rango de longitud del fruto informado por otros investigadores, de entre 40 y 70 mm [3], [11], [10], [12]. Sin embargo, ninguno de los genotipos estudiados en este trabajo alcanzó los valores de longitud de fruto encontrados en otro genotipo colectado en Alajuela centro (identificado como JM-2); al evaluar cinco frutos de

dicho genotipo se obtuvo una longitud promedio de 69,58 mm, con un mínimo de 65,4 mm y un máximo de 72,5 mm, aunque otros frutos mostraron casi 80 mm de longitud (figura 2); ese genotipo no se evaluó en esta investigación debido a la presencia de fibras en el mesocarpio (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar).

Cuadro 4. Longitud del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Longitud del fruto (mm)			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
1	57,36 a	52,6 – 64,0	57,25	5,14
2	57,45 a	53,7 – 62,4	57,10	4,66
3	59,03 b	54,5 – 67,0	58,25	5,40
9	61,56 c	54,4 – 68,1	61,75	4,36
7	63,61 d	56,6 – 67,7	64,00	3,32

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.



Figura 2. Genotipo de tacaco colectado en Alajuela centro.

En el cuadro 5 se muestran los datos para el ancho del fruto; nuevamente el genotipo 1 muestra los valores más bajos, y el genotipo 7 los más altos, lo que de igual manera se relaciona directamente con el peso de los frutos. Los datos obtenidos coinciden con el rango de ancho del fruto hallado por otro autor, de entre 30 y 45 mm [11], [10], [12].

En el cuadro 6 se presentan los datos para el grosor del fruto. En este caso, el genotipo con los frutos con menor grosor fue el genotipo 9, y el genotipo 7 presentó los frutos con el mayor grosor. Estos datos se ubican por encima del rango de grosor del fruto obtenido por un investigador, de entre 20 y 30 mm [11], y por otro autor, de entre 15 y 25 mm [12], pues en todos los genotipos se encontraron frutos con más de 30 mm de grosor.

Cuadro 5. Ancho del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Ancho del fruto (mm)			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
1	39,72 a	36,6 – 43,9	39,60	4,81
9	40,36 a	35,9 – 43,8	40,45	4,70
2	40,59 ab	37,2 – 43,8	40,45	3,96
3	41,43 bc	37,8 – 44,9	41,75	4,80
7	41,57 c	39,2 – 44,5	41,60	2,72

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

Cuadro 6. Grosor del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Grosor del fruto (mm)			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
9	28,01 a	24,1 – 32,5	28,20	6,56
1	28,54 a	25,8 – 31,1	28,65	4,22
3	29,61 b	27,3 – 32,3	29,30	4,81
2	30,00 bc	27,2 – 35,1	29,95	5,60
7	30,40 c	28,1 – 32,6	30,40	3,25

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

En el cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos para el número de suturas longitudinales completas del fruto. Para esta característica, el genotipo 9 presentó los frutos con el menor número de suturas longitudinales completas, y el genotipo 2 mostró los frutos con el mayor número. Las investigaciones previas habían establecido que el fruto de tacaco tiene únicamente cinco suturas longitudinales [12], [3], [13], [11], [2]. Sin embargo, en la presente investigación se demostró que en los cinco genotipos se presentaron algunos frutos con seis y hasta siete suturas longitudinales completas, lo que constituye un hallazgo de la presente investigación (figuras 3 y 4).

Cuadro 7. Número de suturas longitudinales completas del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Número de suturas longitudinales completas del fruto			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
9	5,11 a	5 – 6	5	6,21
3	5,14 ab	5 – 6	5	6,93
1	5,35 bc	5 – 6	5	9,06
7	5,42 c	5 – 7	5	9,85
2	5,61 c	5 – 7	6	11,22

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.



Figura 3. Frutos de tacaco con seis y cinco suturas longitudinales completas, respectivamente.



Figura 4. Frutos de tacaco con siete suturas longitudinales completas.

En el cuadro 8 se presentan los datos para el número de suturas longitudinales incompletas del fruto. En este caso, también fue el genotipo 9 el que mostró los frutos con menor cantidad de suturas longitudinales incompletas, y el genotipo 3 presentó los frutos con la mayor cantidad. Se debe resaltar que esta variable presentó un coeficiente de variación muy alto, en comparación a las otras variables. Ningún investigador había informado anteriormente sobre la existencia de suturas longitudinales incompletas en los frutos de tacaco (es decir, que no llegan hasta alguno de los extremos del fruto), lo que también constituye un hallazgo para esta especie en la presente investigación (figura 5). Para todos los cinco genotipos se encontraron algunos frutos con entre dos y cinco suturas longitudinales incompletas.

En el cuadro 9 se muestran los resultados obtenidos para el número de espinas en el fruto. Los genotipos 3 y 7 presentaron frutos sin espinas o casi sin ellas (unos pocos frutos del genotipo 7 presentaban una o dos espinas), mientras que los demás genotipos sí mostraron muchas espinas. En este caso, también el coeficiente de variación obtenido fue alto. Diversos investigadores han encontrado en los genotipos de tacaco con espinas, que la cantidad de espinas por fruto varía entre 16 y 26 [1], [14], [15], [16]. Por otra parte, otro autor encontró que el número promedio de espinas por fruto fue de 21,52, con un mínimo de nueve y un máximo de 36 [13]. Sin embargo, en el presente trabajo se encontró un rango más amplio para esta variable en los genotipos con espinas, con un mínimo de siete y un máximo de 40 espinas por fruto.

Cuadro 8. Número de suturas longitudinales incompletas del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Número de suturas longitudinales incompletas del fruto			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
9	0,22 a	0 – 2	0	208,09
7	0,47 b	0 – 2	0	127,8
1	0,74 b	0 – 4	0	139,29
2	1,29 c	0 – 3	1	78,80
3	1,61 c	0 – 5	1,5	70,52

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.



Figura 5. Fruto de tacaco con una sutura longitudinal incompleta en primer plano.

Cuadro 9. Número de espinas del fruto de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Número de espinas del fruto			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
3	0,00 a	0	0	nd
7	0,13 a	0 – 2	0	339,96
9	18,83 b	7 – 28	19	21,58
1	22,09 c	14 – 32	22	23,12
2	22,36 c	10 – 40	23	38,9

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

En el cuadro 10 se presentan los datos para la relación largo/ancho del fruto. Los frutos con una mayor relación largo/ancho (forma más “alargada”) fueron los de los genotipos 9 y 7. Sin embargo, ninguno de los genotipos obtuvo una relación largo/ancho tan amplia como la encontrada en otro genotipo colectado en Alajuela centro, con un valor de 1,69 (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar).

En el cuadro 11 se presentan los datos para la relación largo/grosor del fruto. El genotipo 2 presentó los frutos con la menor relación largo/grosor (más “gordos”), y el genotipo 9 los frutos

con la mayor magnitud para esta característica (menos “gordos”). En este caso, igualmente ninguno de los genotipos estudiados alcanzó una relación largo/grosor tan amplia como la encontrada en otro genotipo colectado en Alajuela centro, con un valor de 2,38 (J. E. Monge-Pérez, datos sin publicar).

Cuadro 10. Relación largo/ancho de los frutos de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Relación largo/ancho de los frutos			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
2	1,42 a	1,32 – 1,52	1,41	4,08
3	1,43 a	1,32 – 1,55	1,43	4,02
1	1,45 a	1,25 – 1,58	1,44	4,33
9	1,53 b	1,39 – 1,65	1,53	4,11
7	1,53 b	1,43 – 1,63	1,53	3,02

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

Cuadro 11. Relación largo/grosor de los frutos de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Relación largo/grosor de los frutos			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
2	1,92 a	1,69 – 2,24	1,91	5,65
3	1,99 b	1,82 – 2,24	1,98	4,98
1	2,01 b	1,75 – 2,21	2,02	5,34
7	2,09 c	1,94 – 2,27	2,09	3,56
9	2,21 d	1,74 – 2,53	2,22	8,18

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

En el cuadro 12 se presentan los datos para la relación ancho/grosor del fruto. En este caso, se repitió la tendencia presentada para la variable largo/grosor del fruto, donde el genotipo 2 presentó los frutos con la menor relación ancho/grosor (menos “achatados”), y el genotipo 9 con el mayor valor para esta variable (más “achatados”).

Cuadro 12. Relación ancho/grosor de los frutos de los genotipos de tacaco.

Genotipo	Relación ancho/grosor de los frutos			
	Promedio	Rango	Mediana	Coefficiente de variación (%)
2	1,36 a	1,14 – 1,50	1,38	5,67
7	1,37 a	1,29 – 1,43	1,36	1,96
1	1,39 b	1,32 – 1,49	1,39	3,40
3	1,40 b	1,31 – 1,47	1,40	3,06
9	1,45 c	1,17 – 1,65	1,47	7,87

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de t de Student.

Conclusiones y recomendaciones

Los genotipos seleccionados en esta investigación constituyen buenas opciones para los productores y los consumidores que demandan tacacos de alta calidad, debido a sus excelentes características organolépticas (buen sabor, y poca o nula presencia de fibras en el mesocarpo).

Este trabajo constituye la primera caracterización cuantitativa de diferentes genotipos de tacaco a nivel de fruto; se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos para las diversas variables evaluadas.

En la presente investigación se informa por primera vez sobre la existencia de frutos de tacaco con seis y siete suturas longitudinales completas, y con entre dos y cinco suturas longitudinales incompletas, lo que representa un hallazgo que puede ilustrar los cambios evolutivos recientes de esta especie.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento recibido por parte de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, así como la colaboración de Cristina Arguedas, Eugenia Araya, Marielos Corella, Ingrid Arias, Vanessa Vargas, Sandra Arias, Magaly Guerrero, Ceidy Coto, Eladio Monge, Álvaro Loría, Freddy Chinchilla y Asdrúbal Rodríguez para la realización de este trabajo, así como de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al inglés.

Referencias

- [1] A. Brenes, «Situación actual y perspectivas del tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] en Costa Rica,» *Boletín Agrario*, vol. 11, n° 39, pp. 1-23, 1992.
- [2] R. Lira-Saade, Estudios taxonómicos y ecogeográficos de las Cucurbitaceae latinoamericanas de importancia económica, Roma, Italia: International Plant Genetic Resources Institute, 1995.
- [3] J. León, Botánica de los cultivos tropicales, San José, Costa Rica: IICA, 1987.
- [4] Instituto Nacional de Biodiversidad, «Los ecosistemas agrícolas. Estudio de país: Costa Rica; estudio nacional de biodiversidad; 3.6 Especies domesticadas o cultivadas,» 2004. [En línea]. Available: http://www.inbio.ac.cr/estrategia/Estudio_2004/Paginas/ecosistema03.html. [Último acceso: 2016].
- [5] Programa Integral de Mercadeo Agropecuario, «Estadísticas sobre la comercialización de tacaco en el CENADA, Costa Rica,» Sistema de Información de Mercados Mayoristas, PIMA, Heredia, Costa Rica, 2010.
- [6] H. Quesada, Interviewee, *Cultivo de tacaco en Grecia, Alajuela, Costa Rica*. [Entrevista]. 2015.
- [7] C. Gamboa, Interviewee, *Cultivo de tacaco en Montes de Oro, Puntarenas, Costa Rica*. [Entrevista]. 2015.
- [8] O. Varela, Interviewee, *Cultivo de tacaco en la península de Nicoya, Costa Rica*. [Entrevista]. 2015.
- [9] C. Chízar, Plantas comestibles de Centroamérica, Santo Domingo, Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad, 2009.
- [10] M. d. M. Cerdas-Araya y J. Castro-Chinchilla, «Caracterización poscosecha de frutos de tacaco (*Sechium edule*) en Cartago, Costa Rica,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, n° 1, pp. 141-148, 2017.
- [11] J. Morales, «Morfología general del tacaco, *Sechium tacaco* (Cucurbitaceae),» *Revista de Biología Tropical*, vol. 42, n° 1-2, pp. 59-71, 1994.
- [12] M. Alfaro, «El tacaco,» Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1941.
- [13] J. Morales, «Morfología de *Sechium tacaco* (Pitt.) Jeffrey. Cucurbitaceae,» Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1991.
- [14] J. C. Saborío, «Estudio fenológico del tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey], en Santa Lucía, Barva, Heredia,» Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1998.

- [15] J. C. Saborío, A. Brenes y S. Munguía, «Comportamiento del rendimiento en una población experimental de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey], localizada en Barva, Heredia,» de *Memoria XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 19-23 julio*, San José, Costa Rica, 1999.
- [16] J. C. Saborío, A. Brenes y S. Munguía, «Variación de los caracteres morfométricos de frutos y semillas de tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey], a lo largo del ciclo productivo de la planta,» de *Memoria XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 19-23 julio*, San José, Costa Rica, 1999.
- [17] A. Brenes, «Algunas apreciaciones sobre posibles estrategias de manejo y mejoramiento genético del tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey],» *Imágenes*, vol. 5, n° 8, pp. 77-80, 1998.
- [18] A. Brenes, «Conservación y utilización racional de germoplasma de *Sechium* en Costa Rica. Proyecto colaborativo entre diversas entidades,» *Imágenes*, vol. 3, n° 6, pp. 71-78, 1996.
- [19] M. A. Sibaja, «Puede desaparecer única especie agrícola autóctona: Costa Rica,» *Germinar*, n° 2, pp. 3-4, 1991.

Desarrollo de Aplicaciones Utilizando Geoservicios de una Infraestructura de Datos Espaciales. Casos de éxito: Directorio Comercial SC, AgroMAG, IDEHN Mobile

Developing Applications using Spatial Data Infrastructure GeoServices. Use Cases: Directorio Comercial SC, AgroMAG, IDEHN Mobile

Oscar Viquez-Acuña¹, Leonardo Viquez-Acuña²,
Marlen Treviño-Villalobos³, Marcela Chaves-Álvarez⁴

Fecha de recepción: 7 de octubre de 2016
Fecha de aprobación: 8 de diciembre de 2016

Viquez-Acuña, O; Viquez-Acuña, L; Treviño-Villalobos, M;
Chavez-Álvarez, M. Desarrollo de Aplicaciones Utilizando
Geoservicios de una Infraestructura de Datos Espaciales.
Casos de éxito: Directorio Comercial SC, AgroMAG, IDEHN
Mobile. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre
2017. Pág 85-96

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3275



- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Carrera de Computación. San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: oviquez@tec.ac.cr.
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Carrera de Computación. San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: lviquez@tec.ac.cr.
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Carrera de Computación. San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: mtrevino@tec.ac.cr.
- 4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Carrera de Computación. San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: mchaves@tec.ac.cr.

Palabras clave

Infraestructura de Datos Espaciales; IDE-HN, WMS; WFS; Geoserver; PostGis; Android; Leaflet.

Resumen

Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) permiten primordialmente la administración y publicación de información geográfica, ya sea de índole nacional, regional o local, logrando con esto el potencial establecimiento de una red de nodos de diversos actores proveedores de datos que permita la interrelación de información. En este contexto, la IDE Huetar Norte de Costa Rica (IDEHN) se creó con el propósito de proveer información regional de diversas fuentes.

Para la consulta de esta información, la IDEHN facilita el uso de geoservicios que permiten el acceso remoto de los datos a través de geoportales, herramientas para Sistemas de Información Geográficos e inclusive a través de aplicaciones de software a la medida para escritorio o dispositivos móviles.

En relación con este espacio de trabajo de desarrollo de aplicaciones a la medida, este artículo presenta tres casos de éxito en el uso de geoservicios proporcionados por la IDEHN para gestionar información geográfica en dispositivos móviles.

Abstract

A Geographic Data Infrastructure (GDI) allow users to manage and publish geographic data representing national, regional and local information from several nodes. These nodes can establish a GDI network if the information they contain is related to each other. In this context, the Geographical Data Infrastructure for the Huetar Norte región (IDEHN) was created to publish regional information from various sources.

To consult this information, IDEHN makes available geoservices to get remote access to the data from geoportals, geographical information systems tools and specific desktop software or mobile devices apps.

Over this workspace, this article presents three software examples of using IDEHN geoservices to access geographical information in mobile devices.

Keywords

Geographic Data Infrastructure; IDE-HN; WMS; WFS; Geoserver; PostGis; Android; Leaflet.

Introducción

En la actualidad hay muchas definiciones sobre el concepto de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Como información relevante, este término fue considerado por primera vez en 1993 por el *U.S. National Research Council* para referirse a un marco de tecnologías, políticas y disposiciones institucionales que trabajando conjuntamente, facilitan la creación, el intercambio y el uso de los datos geoespaciales y recursos de información relacionados a través de una comunidad de intercambio de información [1].

También, Kuhn [2] define la IDE como “...una serie de acuerdos acerca de estándares tecnológicos, acuerdos institucionales y políticas que permiten el descubrimiento y uso de

información geoespacial por parte de usuarios y con propósitos diferentes de aquellos para los que fue creada esa información”. Si se analizan las definiciones anteriores, se pueden extraer algunos rasgos comunes como son los términos: información espacial, disponibilidad, intercambio y/o interoperabilidad de la información.

Una IDE está conformada por cuatro componentes fundamentales: los datos, los metadatos, los servicios y la organización, como se muestra en la figura 1. Los datos son una representación simbólica (numérica, alfabética, algorítmica etc.), un atributo o una característica de una entidad. Los metadatos son la información que describe los conjuntos y servicios de datos espaciales. La organización es el componente más complejo y hace que el resto funcione y se mantenga, incluye el personal humano, los estándares y normas que hacen que los sistemas puedan interoperar, las reglas y acuerdos entre los productores de datos, y finalmente están los servicios que son las funcionalidades accesibles mediante los recursos de Internet [3]. Entre los anteriores podemos encontrar el servicio de consultas de mapas en formato de imagen (WMS – Web Map Service) [11], el servicio de descarga de datos geográficos con todos sus atributos (WFS – Web Feature Service) [12], el servicio de acceso a datos de cobertura ráster fotográficas (WCS – Web Coverage Service), entre otros.

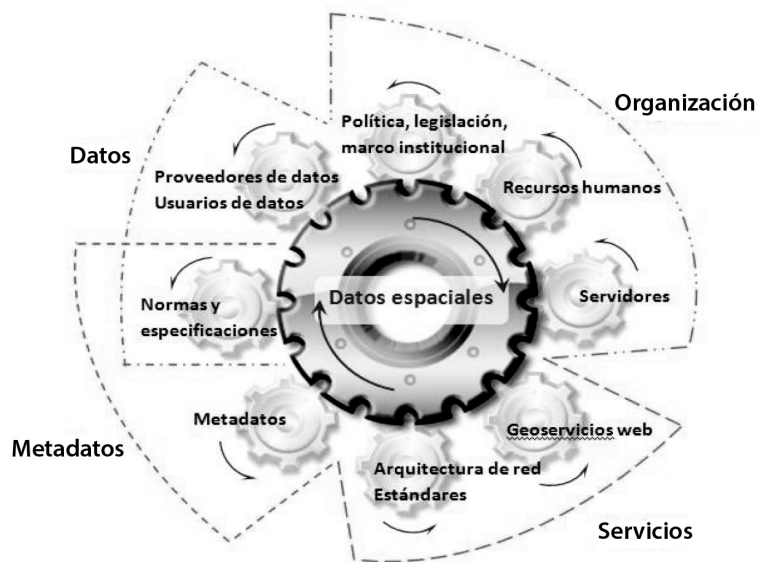


Figura. 1. Componentes fundamentales de una IDE. Tomado de [5].

Al mismo tiempo se puede mencionar que una IDE, a nivel técnico, está compuesta por elementos de hardware tales como servidores con alto poder de cómputo, almacenamiento de la información y conectividad, así como elementos de software necesarios para el acceso a la información. Aplicaciones como visualizadores de mapas, servicios de transferencia de información, gestores de datos geográficos, búsquedas a partir de catálogos de metadatos, entre otros, son ejemplos de herramientas que deben estar presentes en una IDE. Para ello, las opciones de software libre son una seria alternativa para el establecimiento rápido y accesible de estas aplicaciones [4].

En relación con el área geográfica que abarcan, las IDE forman una estructura escalonada en diferentes niveles en función de la extensión y de la información geográfica que gestionan. Los niveles superiores integran a los inferiores, de tal forma que las IDE se pueden clasificar en niveles: continental, nacional, regional y local (ver figura 2).

En este contexto, la Infraestructura de Datos Espaciales del Estado Plurinacional de Bolivia [6], en el documento “Requisitos técnicos para implementar un nodo”, define a un nodo de IDE, como una plataforma informática que provee por lo menos un catálogo de metadatos, autónoma de los otros nodos de la IDE a nivel de los datos, metadatos y eventualmente en aspectos tecnológicos.

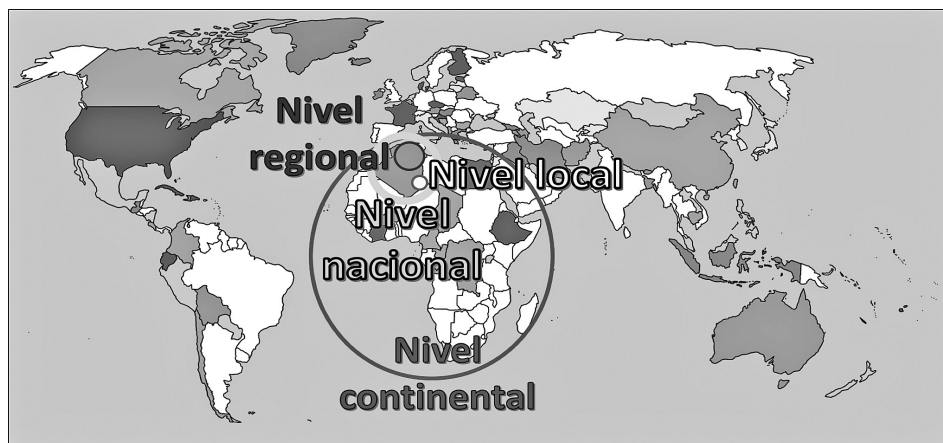


Figura. 2. Niveles organizativos de una IDE. Tomado de [5].

Las funciones principales de un nodo son:

- Almacenamiento de los metadatos en un catálogo.
- Almacenamiento de datos geográficos (opcional).
- Servicios web para el acceso en lectura y escritura (opcional) a los datos y metadatos.

En Costa Rica, estos niveles de IDE se ven reflejados inicialmente a nivel nacional con el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT por sus siglas y disponible en www.snitcr.go.cr) que funge como ente rector de las políticas de manejo de información geográfica estandarizada. A partir del nivel nacional, pueden surgir IDEs regionales y locales (cantonales o distritales). Un ejemplo de nodo regional lo constituye, en la Región Huetar Norte, la IDEHN (www.idehn.tec.ac.cr). En este artículo se detallan los trabajos elaborados por la IDEHN, principalmente en temas de desarrollo de aplicaciones asociadas a los datos que provee la plataforma, y el ejemplo a nivel cantonal de la plataforma IDESCA (www.idesca.cr), desarrollada para el manejo de la información del Gobierno Local de San Carlos.

La IDEHN brinda los servicios de manejo de información estandarizada para acceso público y privado. Dicha información puede ser consultada y utilizada directamente en el portal de la plataforma o puede ser exportada a diversos formatos para diferentes usos. Una de las particularidades que se pueden obtener de estos servicios es la posibilidad de crear aplicaciones particulares que respondan a múltiples fines y que para ello utilicen esta información georeferenciada.

En este contexto, se han implementado una serie de aplicaciones que hacen uso de estos servicios de acceso a datos, los cuales demostrando su potencialidad, lo cual plantea el reto de desarrollar otras herramientas con finalidades similares. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como propósito mostrar los resultados preliminares en el desarrollo de tres aplicaciones particulares denominadas: Directorio Comercial San Carlos (DCSC), AgroMAG e IDEHN Mobile.

Geoservicios WMS y WFS de la IDE-HN.

En este momento, la IDEHN trabaja en el proceso de publicación de capas de datos geográficos con sus respectivos metadatos. A la fecha de elaboración de este documento se han publicado un total de 45 capas de datos, con sus respectivos metadatos estandarizados según normas nacionales (como se muestra en la figura 3). Entre las capas de datos publicadas se encuentra: cantones, distritos, poblados, volcanes, cerros, red vial, ríos, calles, curvas de nivel, entre otras. Además, se han elaborado 6 mapas temáticos.

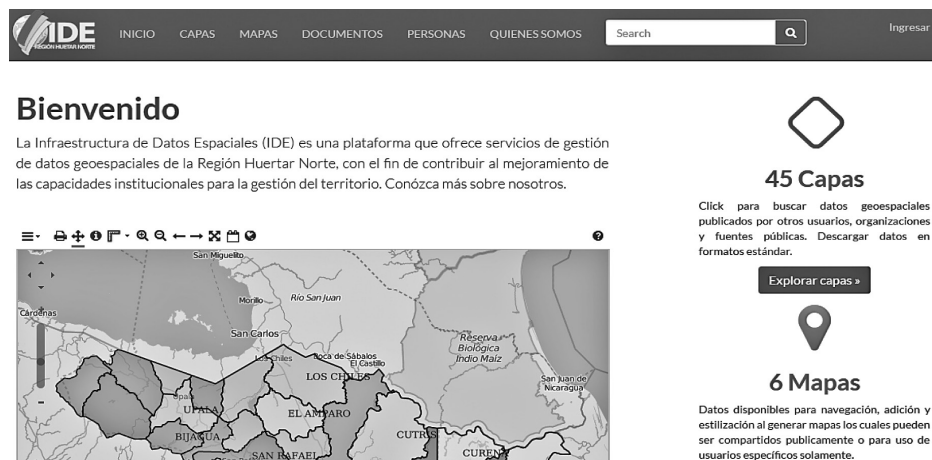


Figura 3. Geoportal IDEHN.

El geoservicio WMS de la IDEHN provee una interfaz HTTP para acceder a imágenes georeferenciadas de distintas bases de datos geospaciales. Estas imágenes asocian un conjunto específico de datos, previamente configurados, que le permiten al usuario reconocer las características observables de los elementos presentes en la imagen, tanto en clientes web como en clientes móviles, como teléfonos inteligentes y tabletas.

En la figura 4, se muestra la capa de datos de curvas de nivel cada 200 metros para la región Huetar Norte de Costa Rica a escala 1:50000, producida por el Instituto Geográfico Nacional. Ésta es mostrada a través del geoservicio WMS, en el visualizador OpenLayers con interfaz sencilla. Se puede apreciar, además, la consulta de varios puntos específicos y su despliegue particular en este visor web minimalista.

El geoservicio WFS de la IDEHN por su parte permite principalmente descarga de capas vectoriales donde se incluye su geometría y las tablas de atributos asociadas que posteriormente pueden ser exportadas a otros formatos como Shapefile, Geography Markup Language (GML), etc. Todo esto a través del lenguaje de marcas extensible (XML, por sus siglás en inglés). Normalmente este servicio puede implicar amplios volúmenes de tráfico de información, lo que ocasiona sea más utilizado por clientes de manejo de datos geográficos como ArcGIS, QGIS, gvSIG, etc; pero al mismo tiempo puede utilizarse en otros procesos que requieran del acceso a los datos de forma directa.

Desarrollo de aplicaciones utilizando geoservicios

Para el desarrollo de las aplicaciones implementadas por la IDEHN, fue necesaria la utilización de las herramientas tecnológicas que mejor se adaptaron a las condiciones existentes, tanto

para el desarrollo nativo en plataformas de Android, junto con componentes web específicos. En el siguiente apartado, se mencionan las principales herramientas utilizadas para el desarrollo de las aplicaciones Directorio Comercial SC, AgroMAG e IDEHN Mobile.

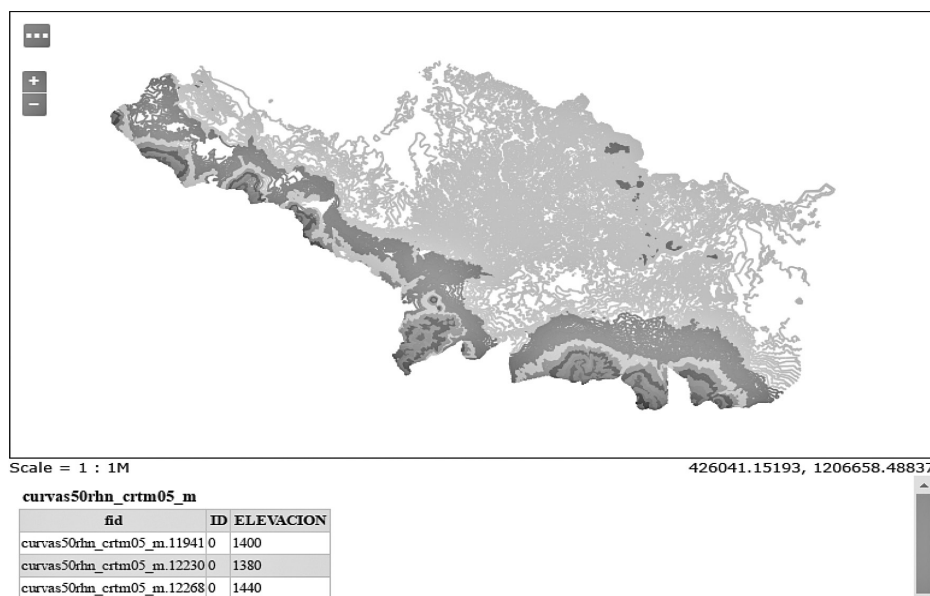


Figura. 4. Curvas de Nivel RHN, escala 1:50000 en visor OpenLayer utilizando WMS de la IDEHN.

Tecnologías Involucradas

Las principales tecnologías involucradas para el desarrollo de las aplicaciones que utilizan geoservicios son:

- *Android Studio*: es un entorno de desarrollo integrado para la plataforma Android que también utiliza herramientas del kit de desarrollo de software (SDK, por sus siglas en inglés) de Java. La creación de la interfaz se define como nativa, utilizando luego JavaScript para el manejo de las estructuras y la lectura del servicio WMS [6].
- *OpenStreetMap*: es un proyecto colaborativo y se utiliza como base para la creación de mapas libres y editables [7].
- *Librería Leaflet*: es una librería de código abierto de JavaScript para la construcción de mapas en la web. Es compatible con la mayoría de plataformas móviles y de escritorio, posee soporte para HTML5 y CSS3. Además, permite a los desarrolladores, sin necesidad de usar un Sistema de Información Geográfica (SIG), visualizar muy fácilmente mapas web alojados en un servidor público [8].
- *PostgreSQL*: Motor de bases de datos open source para el manejo de bases de datos relacionales [10].
- *PostGIS*: Extensión para el motor de bases de datos PostgreSQL que brinda soporte para el manejo de datos geográficos vectoriales y ráster [9].

Con la implementación de la IDEHN y los servicios geográficos ofrecidos por la plataforma se ha tenido la necesidad de expandir los métodos de acceso a la información, por medio del desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles (app). A la fecha se han tenido resultados

preliminares en el desarrollo de tres aplicaciones particulares denominadas: Directorio Comercial San Carlos (DCSC), AgroMAG e IDEHN Mobile.

El *Directorio Comercial San Carlos* consiste en una aplicación desarrollada para la Municipalidad de San Carlos que permite el despliegue de información relacionada con los patentados registrados de dicho cantón, específicamente los detalles generales de contacto así como el componente geográfico. La aplicación incorpora además la funcionalidad de cálculo de rutas desde el lugar donde se encuentre el usuario hacia el punto específico seleccionado.

La aplicación *AgroMAG* es un prototipo creado para el manejo de fincas, en la región Huetar Norte, que trabajan bajo el régimen de protección ambiental y cambio climático. Estas fincas deben ser monitoreadas por funcionarios del MAG, por lo que la aplicación sirve de puente entre el dueño de la finca que registra los cambios en la misma y el técnico del MAG que monitorea dichos avances, hacia el logro de los objetivos particulares planteados.

Por último, la aplicación *IDEHN Mobile* fue diseñada para brindarle al usuario del geoportal IDEHN una perspectiva de manejo de las capas de datos que pueden encontrarse en la plataforma, desde su teléfono celular con el sistema operativo Android. Es posible, desde la aplicación, cargar las capas de datos de la IDEHN así como de otros repositorios y consultar metadatos e información detallada de cada una de ellas y de sus componentes geográficos.

Acceso a la información geográfica

El soporte de datos para las aplicaciones desarrolladas se fundamenta en el consumo directo de los geoservicios que ofrece el geoportal o bien el acceso directo a las bases de datos que dan soporte a la información geográfica.

Con el desarrollo de la app *IDEHN Mobile* se ha realizado una implementación manual del protocolo WFS para leer las distintas características de los objetos geográficos de modo que se pueda mostrar su representación geométrica y los datos descriptivos vinculados. El protocolo WFS es implementado con un protocolo de comunicación HTTP para la transferencia de datos XML estandarizados por el consorcio OGC (www.opengeospatial.org), y denominado GML; que brinda la gramática necesaria para la representación de objetos geográficos [13].

Los datos geográficos están almacenados y controlados por un servidor *PostgreSQL* y soportados por la extensión *PostGIS*, desde donde son accedidos por un servidor web a través del protocolo WFS, este servicio envía paquetes de contenido GML y la app toma estos paquetes y los interpreta para la visualización tanto de los objetos geográficos como de la información descriptiva (ver figura 5).

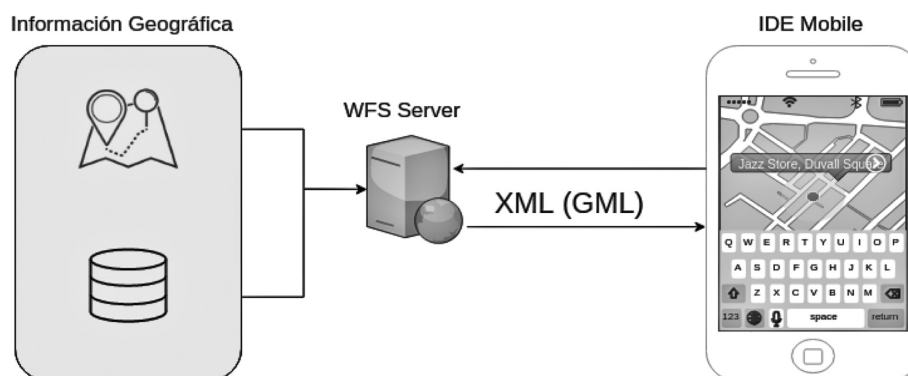


Figura. 5. Modelo de transferencia de datos utilizando el protocolo de comunicación WFS

Por otro lado, las aplicaciones *Directorio Comercial San Carlos* y *AgroMAG* leen los datos geográficos directamente desde las bases geográficas, lo que permite un mayor control de los datos y su manipulación.

La app Directorio Comercial logra con este tipo de conexión, mantener puntos geográficos de referencia de los locales comerciales del cantón de San Carlos, al mismo tiempo que los asocia con información descriptiva y archivos multimedia, en tablas distintas a los datos geográficos. Sin embargo, estos datos siempre se encuentran asociados por conexiones relacionales. Se ha logrado con esto realizar una base de datos híbrida con las funcionalidades relacionales asociadas, el funcionamiento de la aplicación y el manejo de datos geográficos. La figura 6 representa la implementación a la conexión con los datos.

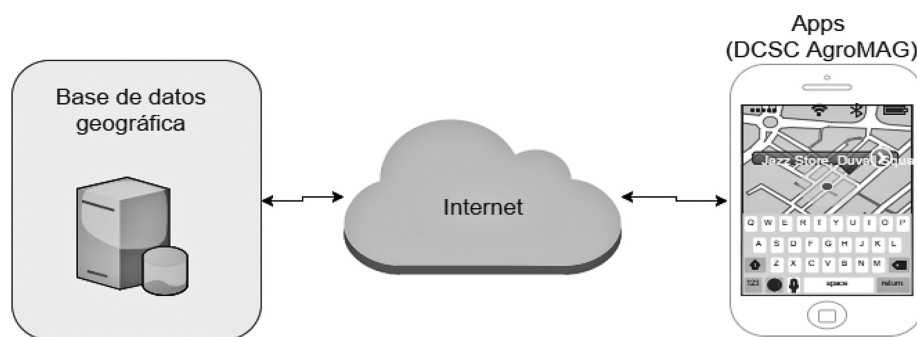


Figura. 6. Conexión directa a base de datos geográfica.

Del mismo modo, la app *AgroMAG* establece una conexión directa con la base de datos, pero el manejo de los datos geográficos tiene un mayor grado de relevancia pues es fundamental el registro histórico de la información tanto geográfica como descriptiva. *AgroMAG* almacena información del uso de los apartos de las fincas por lo que es requerido conocer la historia de uso de los mismos, tomando en consideración que estas segmentaciones de fincas también pueden ser dinámicas en el tiempo.

La figura 7 muestra un subesquema de base de datos, el cual detalla la solución planteada para el modelo relacional, en donde la finca está conformada por una serie de apartos geográficos que cuentan con una relación dirigida a sí mismos para determinar el apartado que lo antecede (si existiera). Cada cambio o creación de apartos genera un nuevo estado final de las fincas que se registra en una tabla que construye el histórico, de este modo siempre se consulta la última modificación y es posible navegar en estados históricos tanto a nivel de finca como a nivel de apartos.

Es importante recalcar que tanto las tablas de fincas y de apartos contienen atributos de tipo Geometry, con los cuales se realizan geoprocursos para la creación de las versiones finales de las fincas y para representar los cambios topológicos históricos.

Despliegue de información geográfica

El despliegue de información geográfica fuera del ámbito de la plataforma IDE presenta un reto particular en el desarrollo de las aplicaciones, ya que depende de los requerimientos específicos de cada aplicación y del geoservicio que se utilice para obtener los datos. Por ejemplo, si se desea desplegar los datos a partir del WMS, se hará uso de algún visor que sea compatible con el tipo de aplicación que se esté desarrollando, sea esta nativa de algún dispositivo móvil, o del ámbito de las aplicaciones web. Por el contrario, si se hace referencia al

uso del servicio WFS brindado por la IDEHN, el despliegue debe ser diferente y las tecnologías utilizadas deben adaptarse para dicho fin.

En el caso particular del Directorio Comercial, el despliegue de datos geográficos se realiza a partir de una capa de datos de la IDE que es transformada a formato GeoJSON; para luego ser desplegada en cualquier visualizador web por medio de la librería *LeafLet* utilizando una plantilla denominada *Bootleaf* para el despliegue elegante de datos masivos. Concretamente, lo anterior potenció el despliegue eficiente, tanto en aplicaciones web de uso general, como en visualizadores nativos de Android con recursos limitados, tanto de hardware, como de acceso a Internet. En la figura 8, se muestra el despliegue de una capa de datos de la IDEHN, tanto en un navegador web robusto como en un visualizador web nativo en Android, y en dicha imagen se puede apreciar que ambos navegadores presentan resultados similares en términos de eficiencia.

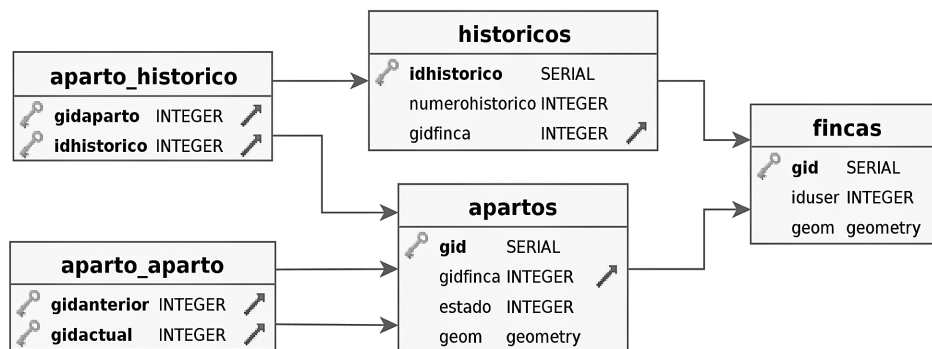


Figura. 7. Modelo relacional para el manejo de datos geográficos históricos.

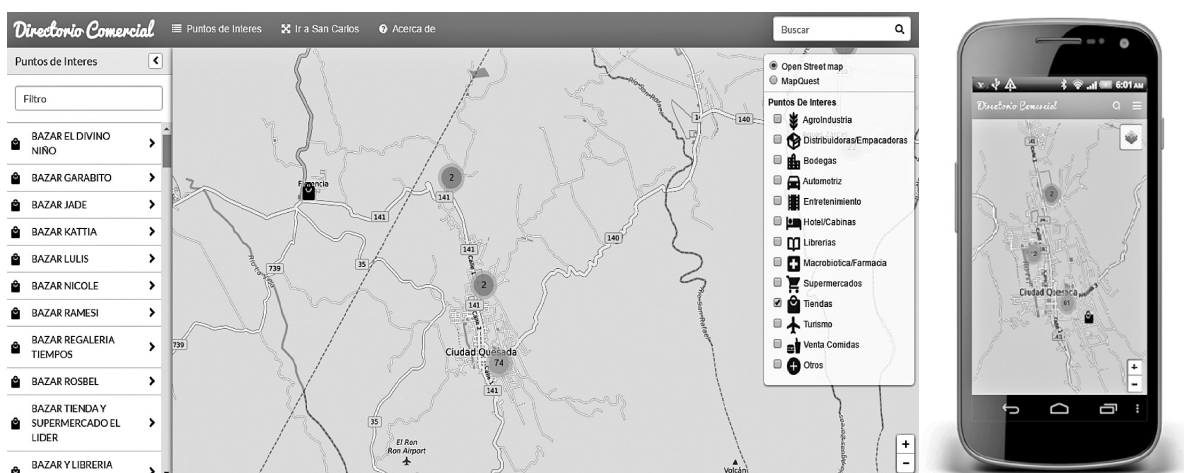


Figura. 8. Bootleaf y LeafLet desplegando información del Directorio Comercial desde diversas plataformas.

Es importante mencionar, que la aplicación nativa de Android para el despliegue de las capas de datos de la plataforma accede a información más detallada, como es el caso de los metadatos de las capas y los campos de los objetos geográficos. Para esto accede directamente al geoservicio WFS pero a través de los recursos públicos que se encuentran en

formato XML, a partir de los que es posible obtener todos los datos mencionados de las capas que así lo permitan.

Este proceso de reconocimiento y análisis del XML conlleva un procesamiento mayor, sobre todo para un dispositivo móvil, por lo que el desempeño cuando la capa de datos contiene una cantidad significativa de información se podría ver comprometido sin llegar a dejar de mostrar los datos. Por este motivo, el despliegue se realizó también utilizando la librería Leaflet (ver figura 9).



Figura 9. Aplicación IDEHN Mobile desplegando datos de la plataforma mediante Booleaf en dispositivo Android.

Conclusiones

La IDEHN, ha logrado reunir fuentes de información relevante para la toma de decisiones de la Región Huetar Norte (Costa Rica), definida como su área de influencia. Se ha logrado vincular distintos actores con información geográfica que en este momento están viviendo una transformación en su esquema de manejo de datos geográficos y su libre publicación para el ofrecimiento de geoservicios. Este cambio, apunta a la necesidad de modificar el modelo de retención de la información para uso interno y sacar un mayor provecho, ofreciendo servicios con esta información para ser demandados por portales geográficos, sistemas de información geográficos de escritorio o apps para dispositivos móviles.

Lo anterior, nos permite determinar que una de las principales potencialidades que brindan las IDE y especialmente sus geoservicios, es el desarrollo de aplicaciones de terceros que consuman los recursos que se brindan. Aunado a ello, se tiene que la información geográfica especializada que puede proveer una IDE, permite el despliegue de capas actualizadas que brindan información valiosa, para ser utilizada con múltiples propósitos y que pueden potenciar el desarrollo de aplicaciones principalmente web o para dispositivos móviles.

Por otro lado, el desarrollo de este tipo de aplicaciones permite a usuarios no especializados tener un mejor conocimiento del ámbito geográfico y cartográfico de su territorio; ya que se pone a disposición de éstos información geográfica actualizada en forma permanente y de fácil

manejo. Estas características representan un avance sustancial en relación al tipo de usuarios que requiere un software SIG tradicional.

En este sentido, los trabajos que ha venido realizando la IDEHN en torno a este tipo de desarrollo de aplicaciones informáticas, cobra suma importancia porque no solo genera la primer experiencia en el desarrollo de aplicaciones que utilizan información geográfica provista por geoservicios en esta región, sino que plantea el inicio de una gran gama de oportunidades de crecimiento para desarrolladores, instituciones, empresas y público en general.

Finalmente, es importante destacar que el futuro de los geoservicios estará enfocado a proporcionar información de sensores en tiempo real, a una sociedad de usuarios equipados con instrumentos de comunicación “inteligentes”, que ofrecerán y demandarán información basada en su ubicación para su representación en diversos planos dimensionales. Esto pone en evidencia que aún hay mucho camino por recorrer en el campo del desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles, que realicen un consumo de los servicios geográficos ofrecidos por una IDE.

Trabajos Futuros

Las infraestructuras de datos espaciales, como consecuencia del cambio propiciado por las tendencias tecnológicas como son dispositivos móviles, sensores y web2.0, están convergiendo hacia sistemas móviles, en tiempo real y con participación activa de los ciudadanos. Esto vislumbra un importante desarrollo informático en torno a plataformas de manejo de información de esta índole y aplicaciones que consuman sus datos. En zonas como la Huetar Norte, temas relacionados con agricultura de precisión, en donde convergen el software y la información geográfica, plantean retos significativos en esta línea de trabajo.

Actualmente, la IDEHN trabaja en la evaluación del impacto social del geoportal, con el objetivo de identificar posibles aspectos de mejora, planteamientos metodológicos para la generación de información geográfica mediante técnicas de mapeo participativo y la incorporación del concepto de IDE semánticas sociales. También, a mediano plazo se plantean temas de Big Data, observatorios inteligentes de datos espaciales y la vinculación de la IDE con el gobierno electrónico.

Temas como éstos y otros más que se discuten, plantean retos significativos hacia futuros desarrollos tecnológicos, a partir de las soluciones existentes y también aportes significativos en temas de investigación aplicada y científica.

Referencias

- [1] J. Martínez de Antoñana. *Pasado, presente y futuro de las Infraestructuras de datos espaciales*, 2da Edición, Bubok Publishing S.L, España, 2008. <http://ww2.pcypsitna.navarra.es/Aprende/Documents/PASADO-PRESENTE-Y-FUTURO-DE-LAS-INFRAESTRUCTURAS-DE-DATOS-ESPACIALES.pdf>
- [2] W. Kuhn, *Introduction to Spatial Data Infrastructures*. Institute for Geoinformatics, University of Münster, Alemania, 2005.
- [3] S. Steiniger, A. Hunter, *Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure*. Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century, 2012, pp 247-261.
- [4] K. Bunzel, A. Ager, C. Schrader-Patton, *Up in the air: Adventures in serving geospatial data using open source software and the cloud*. Washington, D.C.: ACM, 2010.
- [5] eGeoMapping, *eGeoMapping*. [Online] Disponible en: www.egeomapping.com/
- [6] Unknown. *Android Studio Overview*. Recuperado el 2 de abril de 2016, de <http://developer.android.com/intl/es/tools/studio/index.html>

- [7] geoserver.org. *Geoserver*. [Online] Disponible en: <http://geoserver.org/>. 2014.
- [8] Leafletjs.com. *Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps*, [Online] Disponible en: <http://leafletjs.com/>. 2005.
- [9] postgis.net. (2016). *Spatial and geographic objects for PostgreSQL*, [Online] Disponible en: <http://postgis.net/>
- [10] postgresql.org. (2016). *PostgreSQL, the world's most advanced open source data base*, [Online] Disponible en: <https://www.postgresql.org/>
- [11] *OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification 1.3.0, 06-042, 2006*, [Online] Disponible en: <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.
- [12] OpenGeoespatial.org (2016). *OpenGIS Web Feature Service (WFS) Implementation Specification 1.1.0, 04-094, 2005*, [Online] Disponible en: <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>
- [13] OGC. (2016). *OpenGIS Geography Markup Language (GML) Encoding Standard 3.2.1, 07-036, 2007*, [Online] Disponible

Actividad hemolítica de la Anémona Marina *Aiptasia pallida* (*Cnidaria: Actiniaria: Actiniidae*) de Costa Rica

Hemolytic activity of Sea Anemone *Aiptasia pallida* (*Cnidaria: Actiniaria: Actiniidae*) from Costa Rica

Adriana Córdoba-Chaves¹, Henry Borbón-Alpízar², Javier Alvarado-Mesén³, Mónica Zamora-Rodríguez⁴, Roy Soto-Fallas⁵, Daniela Abrego-Ramírez⁶

Fecha de recepción: 22 de setiembre de 2016
Fecha de aprobación: 8 de diciembre de 2016

Córdoba-Chaves, A; Borbón-Alpízar, H; Alvarado-Mesén, J; Zamora-Rodríguez, M; Soto-Fallas, R; Abrego-Ramírez, D. Actividad hemolítica de la Anémona Marina *Aiptasia pallida* (*Cnidaria: Actiniaria: Actiniidae*) de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 97-105

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3276



- 1 Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Tecnología Química, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica.
- 2 Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Tecnología Química, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica. Correo electrónico: henry.borbon.alpizar@una.cr.
- 3 Laboratorio de Bioquímica y Biotecnología de Proteínas, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional. Costa Rica. Correo electrónico: alvaradojavi25@gmail.com.
- 4 Laboratorio de Bioquímica y Biotecnología de Proteínas, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional. Costa Rica. Correo electrónico: alvaradojavi25@gmail.com
- 5 Laboratorio de Productos Químicos y Ensayos Biológicos, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica. Correo electrónico: soyroto@gmail.com
- 6 Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Tecnología Química, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica.

Palabras clave

Anémonas marinas; neurotoxinas; bioactividad; actividad hemolítica; *Aiptasia pallida*.

Resumen

El filo Cnidaria incluye organismos considerados dentro de los más venenosos en la naturaleza. Más específicamente, alrededor de 32 especies de anémonas marinas han sido reportadas como productoras de péptidos y proteínas citolíticas. Este estudio fue llevado a cabo para evaluar la actividad hemolítica del extracto crudo de la anémona marina *Aiptasia pallida* en Costa Rica. El material biológico fue colectado, triturado, homogenizado y posteriormente centrifugado para la obtención del extracto crudo. El mismo fue caracterizado a través de una evaluación de su actividad hemolítica (HA) con glóbulos rojos de sangre humana (RBC). Interesantemente, los resultados de HA no mostraron rompimiento de los eritrocitos, sin embargo hubo un incremento de la absorbancia en función del tiempo. El extracto crudo reveló la existencia de una banda de proteína alrededor de 30 kDa por SDS-PAGE, no se encontró banda características de actinoporinas en *A. pallida*. Estos resultados podrían estar asociados con una concentración sub-lítica de otra familia de proteínas las cuales alteran el equilibrio osmótico y cambian el volumen de las células, sin un efecto letal a las concentraciones ensayadas.

Keywords

Sea anemones; neurotoxins; bioactivity; hemolytic activity; *Aiptasia pallida*.

Abstract

The Cnidaria phylum includes organisms that are among the most venomous animals. More than 32 species of sea anemones have been reported to produce lethal cytolytic peptides and proteins. This study was designed to evaluate the hemolytic activity on the crude extract of the sea anemone *Aiptasia pallida*. The anemone was collected, minced, homogenized and then centrifuged. Functional characterization of the crude extract was evaluated by hemolytic activity (HA) against human red blood cells. Interestingly, the HA results showed no lysis of the cells, but absorbance increased in function of time. The crude extract revealed the existence of proteins band around 30 kDa by SDS-PAGE, no actinoporin band was found in *A. pallida*. These results could be associated with a sub-lytic concentration of other protein family which is altering osmotic equilibrium and changing cells volume, with no lethal effect at the concentrations tested.

Introducción

El medio ambiente marino es un reservorio excepcional de productos naturales, muchos de los cuales exhiben características estructurales que no se encuentran en compuestos naturales terrestres [1]. El número de productos naturales aislados de organismos marinos aumenta rápidamente, y actualmente exceden los 18000 [2]. Muchos de los estudios están dirigidos hacia el descubrimiento de sustancias novedosas con actividad biológica, debido a la impetuosa necesidad por la obtención de nuevos fármacos que puedan controlar las cepas evolutivamente más resistentes de microorganismos [3].

Esta alta biodiversidad de los ecosistemas marinos ha resultado en un importante recurso de compuestos químicos, los cuales se han reportado que tienen aplicaciones terapéuticas variadas como actividad antibacterial, antifúngica, antiviral, anticáncer, también actuando como

inhibidores y promotores de crecimiento en tejidos vegetales y animales [4]-[9]. Muchos de los nuevos fármacos que son utilizados en la terapia moderna, principalmente en el área de la oncología y en las enfermedades infecciosas, son conocidos por ser derivados de productos naturales [10]. Además, una importante cantidad de los fármacos sintéticos tienen como base química la estructura de estos compuestos naturales aislados de organismos marinos [11].

Los cnidarios son un filo que agrupa alrededor de 10000 especies de animales relativamente simples, que viven exclusivamente en ambientes acuáticos, mayoritariamente marinos, y representan una promisoriosa fuente de potenciales fármacos [12]-[13]. Interesantemente, estos organismos ocupan una peculiar posición dentro de los animales venenosos; en algunos ambientes acuáticos están en la parte alta de la cadena alimenticia, tienen la capacidad de monopolizar los recursos en su hábitat, así como el espacio disponible, lo que los convierte en organismos dominantes en los lugares donde logran desarrollarse [14]-[17]. El potencial de los cnidarios para ser utilizados como fuente de fármacos se ha demostrado con un significativo número de reportes de moléculas activas aisladas de estos organismos entre el 2000 y el 2010 [13]. La cantidad ha aumentado considerablemente en los últimos años [18].

Los celenterados producen proteínas y péptidos activos biológicamente, incluidas toxinas formadoras de poros (citolisinas), fosfolipasas, inhibidores de proteinasas y neurotoxinas [19]-[22]. En años recientes, las toxinas citolíticas de anémonas marinas han atraído el interés de muchos investigadores, debido a sus actividades biológicas tan variadas; se han reportado antitumorales, antiparasítica, antimicrobiana y otras actividades debido a su poderosa acción membrano-lítica, y a la posibilidad de dirigir estas proteínas y péptidos hacia tejidos específicos [23]-[28].

Actualmente no hay información reportada de la actividad biológica de *Aiptasia pallida* en Costa Rica. El principal objetivo del presente estudio fue reportar la presencia o ausencia de actividad hemolítica como un primer diagnóstico relacionado con la química de la anémona marina *A. pallida* como parte de la exploración de nuevos compuestos.

Materiales y métodos

Recolección de las muestras

El material biológico fue recolectado en tanques de acuicultura de la Estación de Biología Marina, ubicada en la provincia de Puntarenas, Costa Rica (Latitud 9° 97'66.75" N y Longitud 84° 82'89.22" O). Las anémonas marinas fueron cuidadosamente desprendidas de las paredes de los tanques, para luego ser lavadas con agua destilada, colocadas en tubos de muestreo plásticos, para finalmente ser transportadas al laboratorio a una temperatura de alrededor de 4°C. Las muestras se mantuvieron a dicha temperatura durante el transporte para prevenir la descomposición, pérdida de concentración y la actividad normal de los biocompuestos presentes, como lo recomiendan [29] y [30]. Unos especímenes se preservaron en formalina al 5% y también en etanol al 70%, para su posterior confirmación taxonómica y para ser depositados en la colección de cnidarios del Museo de Ciencias Biológicas (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional).

Preparación y extracción del material

El extracto crudo fue obtenido por trituración y homogenización de todo el cuerpo del organismo con agua destilada (1:2 m/v), con ayuda de un mortero previamente enfriado a 4°C. Los sólidos se separaron inicialmente por decantación, para luego separar los sólidos más finos por centrifugación a 13675 rpm por 20 min a 4°C en una centrifuga Eppendorf 5418R.

El sobrenadante obtenido fue colectado en tubos eppendorf y almacenado a -22°C hasta su análisis [26]-[27].

Actividad Hemolítica

La concentración de proteínas del extracto crudo fue determinada por el método de Bradford [31] con Azul Brillante de Coomassie G-250 al 0.01%, utilizando albumina de suero bovino (BSA) como estándar. La absorbancia fue medida espectrofotométricamente a 280 nm. Se realizó una electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecil-sulfato de sodio (SDS-PAGE) al extracto crudo a diferentes concentraciones, utilizando gel de poliacrilamida al 15%. El extracto fue disuelto en buffer Laemmli [32], (10% SDS, 0.02 M 2-mercaptoetanol, pH 6.8) y fue calentado a 100°C por 10 min. Las bandas de proteínas fueron teñidas con tinción Azul de Coomassie al 0.05% (m/v). Se utilizó un marcador de peso molecular (8 a 220 kDa) marca ColorBurst™ (Sigma Aldrich), como control positivo para bandas de actinoporinas se utilizaron esticolisina II (StII) de la anémona marina *Stichodactyla helianthus* y una nueva actinoporina aislada cromatográficamente de *Anthopleura nigrescens* [26], [33].

La actividad hemolítica fue evaluada turbidimétricamente a 600 nm a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), como se describe en el método utilizado por Martínez y otros [34]. La suspensión de eritrocitos fue preparada utilizando células rojas de sangre fresca (RBC), lavadas por centrifugación y resuspendidas en Tris-buffered saline (TBS; 145 mM NaCl, 10 mM Tris-HCl, pH 7.4). La suspensión de eritrocitos fue diluida con TBS hasta que alcanzar un valor de absorbancia de 0.100 a 600 nm, y la lectura de los valores de absorbancia fueron determinados en un lector de microplacas MultiScan FC (Thermo Scientific). La pérdida de turbidez fue relacionada cuantitativamente con la actividad hemolítica. Se realizó un control negativo utilizando RBC sin la presencia del extracto; y un control positivo utilizando RBC con la actinoporina esticolisina II (STII) de la anémona marina *Stichodactyla helianthus* [33], [35].

Resultados y discusión

Los resultados de la actividad hemolítica (HA) del extracto crudo de la anémona marina *A. pallida* se muestran en la figura 1. Las diferentes concentraciones ensayadas del extracto no mostraron HA contra las RBC, sin embargo la absorbancia fue incrementando en función del tiempo, e incrementa a mayor concentración de proteínas del extracto. El control positivo de StII de la anémona *S. helianthus* se puede observar en la figura 2, donde es claro un incremento inicial de la absorbancia, seguido de un decaimiento de su valor, producto de la lisis de las RBC. En el caso del aumento en los valores de absorbancia del del extracto crudo, es un comportamiento que está relacionado con el aumento en el volumen de los eritrocitos, sugiriendo que los componentes del extracto presentan ciertas cargas particulares que al acercarse a la membrana, pueden tener como consecuencia la alteración de la distribución de los iones que usualmente difunden a través de ella [36]. El tráfico de iones es gobernado por campos eléctricos, gradientes de concentración y permeabilidades de la membrana no específicas. Esta acción es conocida como el efecto Donnan: iones en el fluido extracelular pueden impulsarla entrada o salida de otros iones a la célula. La única vía para la célula de restablecer el equilibrio osmótico es alterar su volumen hasta que la concentración de iones intracelulares que no difunden sea igual a la concentración de los iones restringidos en el líquido extracelular [37]-[39]. Los resultados obtenidos sugieren que la variación en el volumen de las RBC podría ser causado por la desestabilización de la membrana producto de la interacción con compuestos presentes en el extracto de *A. pallida*, sin causar la lisis de la célula a las concentraciones ensayadas (concentración sub-lítica).

Existen múltiples reportes de anémonas marinas que presentan neurotoxinas con diferentes interacciones sobre RBC y efectos en la conducción iónica de las membranas. El primer reporte en el veneno de *Aiptasia* fue descrito por Hessinger y otros [40], quienes identificaron la presencia de una fosfolipasa A, la cual tenía efectos sobre la actividad nerviosa de algunos organismos ensayados. Muscatine y Lenhoff [41] fueron de los primeros en reportar una neurotoxina en *A. pallida*, la cual causaba la muerte del cangrejo violinista. Marino y otros [42] encontraron citotoxicidad en el veneno de los nematocistos de la anémona marina *Aiptasia mutabilis*; el nematocisto contenía una o más toxinas con una actividad extremadamente citolítica (0.6 nematocistos/microL inducía necrosis celular). Neshier y otros [43] describieron el aislamiento y caracterización de AdE-1 (un modificador de canal iónico), un péptido nuevo cardiotónico de la anémona marina *Aiptasia diaphana*. AdE-1 incrementa la amplitud de la contracción del cardiomiocito y disminuye la velocidad de la fase tardía de la contracción de relajación, sin ninguna inducción o contracción espontánea.

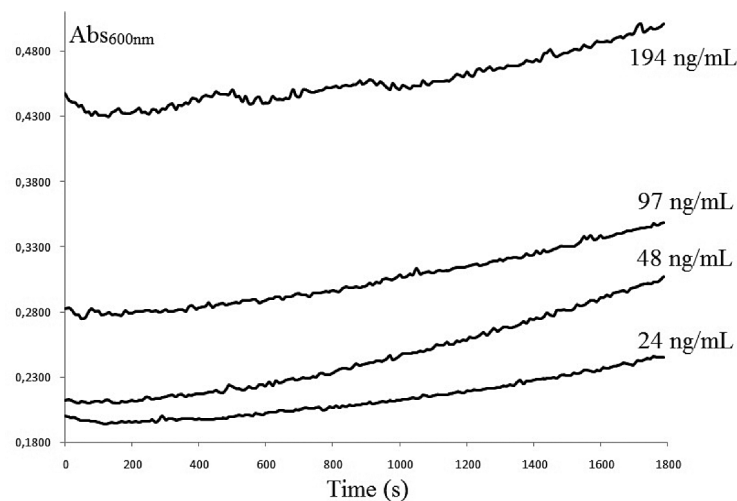


Figura 1. Actividad hemolítica (HA) del extracto crudo (1:2 m/v) de *Aiptasia pallida*. Las concentraciones de proteína ensayadas fueron 194, 97, 48 and 24 ng/mL.

Los resultados obtenidos en la SDS-PAGE muestran una banda con un peso molecular alrededor de 20 kDa (figura 3) para esticolisina II de la anémona marina *S. helianthus*, e igualmente para la nueva actinoporina reportada para *A. nigrescens* (PII) por Alvarado y otros [26] aparece una banda con un peso molecular alrededor de 20 kDa; característica de la familia de las actinoporinas [24], [44]-[45]. Los extractos de *A. pallida* no mostraron bandas alrededor de 20 kDa (Figura 3) a ninguna concentración, lo que evidencia la no presencia de actinoporinas en esta anémona. Una banda con un peso molecular alrededor de 30 kDa podría responder a la presencia de proteínas-toxinas tipo III en el extracto, las cuales tienen efectos característicos a los resultados observados en HA [24].

Conclusiones

Se evaluó el extracto crudo de la anémona marina *A. pallida* de Costa Rica, específicamente para actividad hemolítica. Los resultados mostraron el incremento del valor de absorbancia asociado al aumento de volumen de los eritrocitos en función del tiempo, sin alcanzar la lisis de los mismos a las concentraciones ensayadas, por lo que se consideran concentraciones sub-líticas. También se observa un incremento del valor de absorbancia al aumentar la

concentración de proteínas en el extracto, lo que indica que algún o algunos compuestos del extracto interacciona con la membrana, provocando desestabilización en la misma.

El extracto crudo de la anémona *A. pallida* podría ser una fuente promisoría de proteínas y péptidos activos, los cuales pueden ser aplicados como herramientas biotecnológicas en diferentes áreas de la ciencia [46]. Muchos extractos de anémonas marinas, así como sus venenos siguen demostrando que presentan compuestos con propiedades biológicas interesantes que pueden ser explotados en aplicaciones clínicas en el futuro [47]-[49].

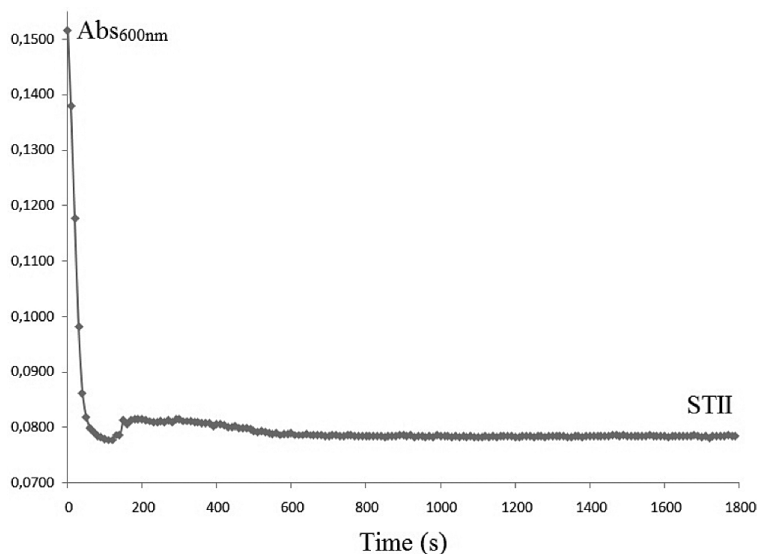


Figura 2. Control positivo de actividad hemolítica (HA) de esticolisina II (STII) de la anémona marina *Stichodactyla helianthus*. La concentración de proteínas fue de 60 ng/mL.

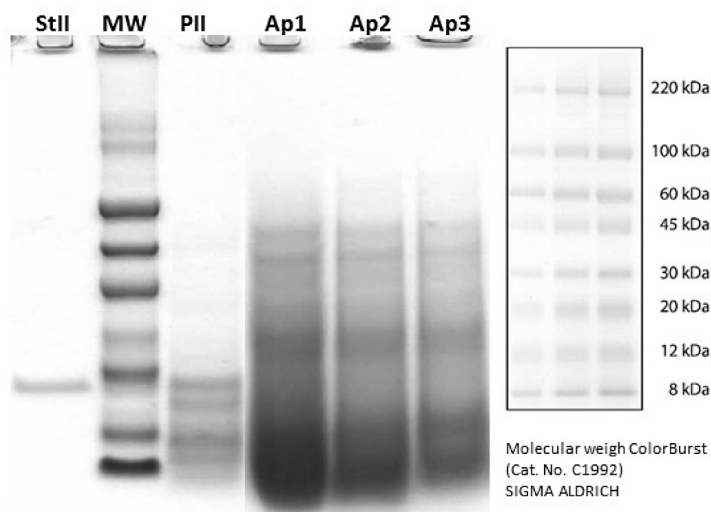


Figura 3. SDS-PAGE (15%) de diferentes concentraciones de extracto crudo de *Aiptasia pallida*. Bandas: StII: esticolisina II de *Stichodactyla helianthus*, (20 kDa; 0.06 mg/mL); MW: marcador de peso molecular; PII: nueva actinoporina aislada de la anémona marina *Anthopleura nigrescens* (Alvarado et al., 2014); Ap1: extracto crudo de *A. pallida* (0.32 mg/mL); Ap2: extracto crudo de *A. pallida* (0.16 mg/mL); Ap3: extracto crudo de *A. pallida* (0.08 mg/mL). Las bandas fueron reveladas con Azul Coomassie 0.05% (m/m).

Agradecimientos

A la Estación de Biología Marina de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica por proporcionar las muestras de *A. pallida* utilizadas en este estudio.

Referencias

- [1] D. J. Faulkner, "Marine natural products", *Nat Prod Rep*, vol. 19, n° 1, pp. 1-48, 2002.
- [2] D. Datta *et al.*, "Bioactive compounds from marine invertebrates for potential medicines – An overview", *ILNS*, vol. 34, n° 7, pp. 42-61, 2015.
- [3] G. P. Williams *et al.*, "Antimicrobial activity of tissue and associated bacteria from benthic sea anemone *Stichodactyla haddoni* against microbial pathogens", *J Environ Biol*, vol. 28, n° 4, pp. 789-793, 2007.
- [4] W. AL-Zereini, "Natural products from marine bacteria", Ph.D. dissertation, University of Kaiserslautern, Germany, 2006.
- [5] S. Caccamese & R. Azzolina, "Screening for antimicrobial activities in marine algae from eastern Sicily". *Planta Med*, vol. 37, n° 4, pp. 333-339, 1979.
- [6] H. Harada & Y. Kamei, "Selective cytotoxicity of marine algae extracts to several human leukemic cell lines", *Cytotechnology*, vol. 25, n° 1-3, pp. 213-219, 1997.
- [7] H. S. Pereira *et al.*, "Antiviral activity of diterpenes isolated from the Brazilian marine alga *Dictyota menstrualis* against human immune deficiency virus type 1 (HIV-1)", *Antiviral Res*, vol. 64, n° 1, pp. 69-76, 2004.
- [8] R. M. Perez *et al.*, "Antimicrobial activity of some American algae", *J Ethnopharmacol*, vol. 29, n° 1, pp. 111-116, 1990.
- [9] A. K. Siddhanta *et al.*, "Bioactivity of marine organisms: Part VIII - Screening of some marine flora of western coast of India", *Indian J Exp Biol*, vol. 35, n° 6, pp. 638-643, 1997.
- [10] D. J. Newman *et al.*, "Natural products as sources of new drugs over the period 1981-2002", *J Nat Prod*, vol. 66, n° 7, pp. 1022-1037, 2003.
- [11] D. J. Newman *et al.*, "The influence of natural products upon drug discovery", *Nat Prod Rep*, vol. 17, n° 3, pp. 215-234, 2000.
- [12] R. N. Mariscal, "Nematocysts", in *Coelenterate Biology*, L. Muscatine & H. M. Lenhoff, Ed. New York: Academic Press, 1974, pp. 129-178.
- [13] J. Rocha *et al.*, "Cnidarians as a source of new marine bioactive compounds-An overview of the last decade and future steps for bioprospecting", *Mar Drugs*, vol. 9, n° 10, pp. 1860-1886, 2011.
- [14] J. E. Purcell, "Predation on zooplankton by large jellyfish, *Aurelia labiata*, *Cyanea capillata* and *Aequorea aequorea*", in Prince William Sound, Alaska", *Mar Ecol Prog Ser*, vol. 246, pp. 137-152, 2003.
- [15] C. P. Lynam *et al.*, "Jellyfish overtake fish in a heavily fished ecosystem", *Curr Biol*, vol. 16, n° 13, pp. 492-493, 2006.
- [16] H. U. Riisgard *et al.*, "Population dynamics and zooplankton-predation impact of the indigenous scyphozoan *Aurelia aurita* and the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Limfjorden (Denmark)", *Aquat Invasion*, vol. 7, n° 2, pp. 147-162, 2012.
- [17] T. Falkenhaus, "Review of jellyfish blooms in the Mediterranean and Black Sea", *Mar Biol Res*, vol. 10, n° 10, pp. 1038-1039, 2014.
- [18] G. L. Mariottini & I. D. Grice, "Antimicrobials from Cnidarians. A new perspective for anti-infective therapy?", *Mar Drugs*, vol. 14, n° 3, p. E48, 2016.
- [19] L. Beress, "Biologically active compounds from coelenterates", *Pure Appl Chem*, vol. 54, n° 10, pp. 1981-1994, 1982.
- [20] J. S. de Oliveira *et al.*, "Caissarolysin I (Bcs I), a new hemolytic toxin from the Brazilian sea anemone *Bunodosoma caissarum*: purification and biological characterization", *Biochim Biophys Acta*, vol. 1760, n° 3, pp. 453-461, 2006.



- [21] W. R. Kem *et al.*, "Sea anemone toxins as templates for the design of immunosuppressant drugs", *Perspect Drug Discov Des*, vol. 16, n° 0, pp. 111-129, 1999.
- [22] H. Rauer *et al.*, "Structural conservation of the pores of calcium-activated and voltage-gated potassium channels determined by a sea anemone toxin", *J Biol Chem*, vol. 274, n° 31, pp. 21885-92, 1999.
- [23] T. Turk, "Cytolytic toxins from sea anemones", *J Toxicol Toxin Rev*, vol. 10, n° 3, pp. 223-262, 1991.
- [24] G. Anderluh & P. Macek, "Cytolytic peptide and protein toxins from sea anemones (Anthozoa: Actiniaria)", *Toxicon*, vol. 40, n° 2, pp. 111-124, 2002.
- [25] S. Thangaraj *et al.*, "Antimicrobial properties of sea anemone *Stichodactyla mertensii* and *Stichodactyla gigantea* from Mandapam coast of India", *Asian Pac J Trop Biomed*, vol. 1, n° 1, pp. S43-S46, 2011.
- [26] J. Alvarado *et al.*, "Isolation and partial purification of a hemolytic sphingomyelin-inhibitable fraction from the sea anemone *Anthopleura nigrescens*", *Biotechnol Apl*, vol. 31, n° 1, pp. 53-56, 2014.
- [27] H. Borbón *et al.*, "Antimicrobial properties and screening of secondary metabolites extracted from sea anemone *Anthopleura nigrescens* (Cnidaria: Actiniaria: Actiniidae) on the pacific coast of Costa Rica", *Eur J Scien Res*, vol. 134, n° 2, pp. 212-221, 2015.
- [28] H. Borbón *et al.*, "Antimicrobial properties of sea anemone *Anthopleura nigrescens* from Pacific coast of Costa Rica", *Asian Pac J Trop Biomed*, vol. 6, n° 5, pp. 418-421, 2016.
- [29] V. Haüssermann, "Identification and taxonomy of soft-bodied hexacorals exemplified by Chilean sea anemones; including guidelines for sampling, preservation and examination", *J Mar Biol Assoc UK*, vol. 84, n° 5, pp. 931-936, 2004.
- [30] J. Sánchez-Rodríguez *et al.*, "Isolation, partial purification and characterization of active polypeptide from the sea anemone *Bartholomea annulata*", *Basic Clin Pharmacol Toxicol*, vol. 99, n° 2, pp. 116-121, 2006.
- [31] M. M. Bradford, "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding", *Anal Biochem*, vol. 72, n° 1-2, pp. 248-254, 1976.
- [32] U. K. Laemmli, "Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4", *Nature*, vol. 227, n° 5259, pp. 680-685, 1970.
- [33] M. E. Lanio *et al.*, "Purification and characterization of two hemolysins from *Stichodactyla helianthus*", *Toxicon*, vol. 39, n° (2-3), pp. 187-194, 2001.
- [34] D. Martinez *et al.*, "Properties of St I and St II, two isotoxins isolated from *Stichodactyla helianthus*: a comparison", *Toxicon*, vol. 39, n° 10, pp. 1547-1560, 2001.
- [35] I. F. Pazos *et al.*, "Modification of sticholysin II hemolytic activity by free radicals", *Toxicon*, vol. 36, n° 10, pp. 1383-1393, 1998.
- [36] K. E. Barrett, S. M. Barman, S. Boitano & H. Brooks, *Ganong's Review of Medical Physiology*. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [37] S. G. Schultz, "The internal environment", in *Essential Medical Physiology*. L. R. Johnson. Ed. San Diego: Academic Press, 2003, pp. 5-6.
- [38] S. Kurbel, "Are extracellular osmolality and sodium concentration determined by Donnan effect of extracellular protein charges and of pumped sodium?", *J Theor Biol*, vol. 252, n° 4, pp. 769-772, 2008.
- [39] S. Kurbel, "Donnan effect on chlorine ion distribution as a determinant of body fluid composition that allow action potentials to spread via fast sodium channels", *Theor Biol Med Model*, vol. 8, n° 16, 2011.
- [40] D. A. Hessinger *et al.*, "Haemolytic phospholipase A and nerve-affecting activities of sea anemone nematocyst venom", *Nat New Biol*, vol. 241, n° 108, pp. 125-127, 1973.
- [41] L. Muscatine & H. M. Lenhoff, *Coelenterate Biology: Reviews and New Perspectives*. New York: Academic Press, 1974.
- [42] A. Marino *et al.*, "Cytotoxicity of the nematocyst venom from the sea anemone *Aiptasia pallida*", *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, vol. 139, n° 4, pp. 295-301, 2004.
- [43] N. Neshher *et al.*, "AdE-1, a novel inotropic Na⁺ channel toxin from *Aiptasia diaphana*, is similar to, yet distinct from, known anemone Na⁺ channel toxins", *Biochem J*, vol. 451, n° 1, pp. 81-90, 2013.
- [44] C. Alvarez *et al.*, "Sticholysins, two pore-forming toxins produced by the Caribbean Sea anemone *Stichodactyla helianthus*: their interaction with membranes", *Toxicon*, vol. 54, n° 8, pp. 1135-1147, 2009.

- [45] J. Alegre-Cebollada *et al.*, "Sea anemone actinoporins: the transition from a folded soluble state to a functionally active membrane-bound oligomeric pore", *Curr Protein Pept Sci*, vol. 8, n° 6, pp. 558-572, 2007.
- [46] M. Tejuca *et al.*, "Sea anemone cytolytins as toxic components of immunotoxins", *Toxicon*, vol. 54, n° 8, pp. 1206-1214, 2009.
- [47] E. V. Klyshko *et al.*, "Isolation, properties and partial amino acid sequence of a new actinoporin from the sea anemone *Radianthus macrodactylus*", *Toxicon*, vol. 44, n° 3, pp. 315-324, 2004.
- [48] Y. Murti & T. Agrawal, "Marine derived pharmaceuticals-Developed of natural health products from marine biodiversity". *Int J Chem Tech Res*, vol. 2, n° 4, pp. 2198-2217, 2010.
- [49] D. J. Newman & g. M. Cragg, "Natural products as sources of new drugs over 30 years from 1981-2010", *J Nat Prod*, vol. 75, n° 3, pp. 311-335, 2012.

Producción de Hidrógeno a partir de la fermentación de residuos agroindustriales de la piña

Hydrogen production from the fermentation of pineapple agroindustrial wastes

Luisa Montoya-Pérez¹, J. Esteban Durán-Herrera²

Fecha de recepción: 29 de julio de 2016

Fecha de aprobación: 17 de setiembre de 2016

Montoya-Pérez, L; Durán-Herrera, E. Producción de hidrógeno a partir de la fermentación de residuos agroindustriales de la piña. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 106-118.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3277

1 Licenciada en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: luisamonp08@yahoo.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

Producción de hidrógeno; fermentación anaeróbica; residuos agroindustriales; corazón de piña; biohidrógeno.

Resumen

Se estudió la generación de hidrógeno a partir de la fermentación anaeróbica de residuos agroindustriales de corazón de piña utilizando como inóculo lodos pretratados provenientes de una planta de tratamiento de agua residual del tipo UASB. Mediante un diseño factorial 2^3 , se determinaron los efectos de la concentración inicial de sustrato, del pH inicial del medio de fermentación y de la formulación de nutrientes, sobre el rendimiento en la producción de hidrógeno. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando un pH inicial de 5,5, con una concentración inicial de sustrato de 5 (g de glucosa)/L y usando una formulación de nutrientes basada en magnesio, hierro, zinc y sodio. Posteriormente, utilizando las condiciones de operación anteriores, se realizó un escalamiento de la fermentación en un bioreactor de 5 L y se alcanzó un rendimiento máximo en la producción de hidrógeno de 1,541 (mol H_2)/(mol glucosa). Este rendimiento es comparable con datos reportados en la literatura cuando se ha usado glucosa como sustrato. Los resultados obtenidos sugieren que los residuos de corazón de piña podrían ser utilizados como una fuente renovable para la producción de hidrógeno.

Keywords

Hydrogen production; anaerobic fermentation; pineapple wastes; biohydrogen.

Abstract

Hydrogen production from the fermentation of pineapple core wastes was studied using pretreated sludge from a local UASB wastewater treatment plant as inoculum. Applying a 2^3 factorial design, the effects of initial substrate concentration, initial fermentation medium pH, and type of nutrient formulation on H_2 production were studied. The best results were obtained at pH of 5,5, with a substrate concentration of 5 (g glucose)/L, and using a nutrient formulation based on magnesium, iron, zinc, and sodium. Then, utilizing the previous operating conditions, the fermentation was scaled up to a 5 L bioreactor and a maximum yield of 1,541 (mol H_2)/(mol glucose) was achieved. This hydrogen yield is comparable with others reported in the literature when glucose was used as substrate. These results suggest that pineapple core wastes could be used as a renewable source for hydrogen production.

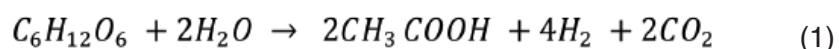
Introducción

La búsqueda de fuentes renovables para la producción de combustibles es sin lugar a duda una de las actividades de investigación de mayor vigencia en la actualidad a nivel mundial. Esto es impulsado por múltiples factores tales como el calentamiento global del planeta, los problemas diplomáticos por reservas limitadas de hidrocarburos y por la distribución desigual de los recursos no renovables entre los diferentes países. Con estas nuevas fuentes energéticas renovables se pretende detener el uso desmesurado de los combustibles fósiles (gas natural, carbón y petróleo) y disminuir consecuentemente el impacto ambiental generado por su combustión.

Entre los posibles combustibles renovables se encuentra el hidrógeno, acarreador de energía limpia, ya que su reacción de oxidación con oxígeno produce 120 kJ/g de energía liberando únicamente agua en el proceso. A pesar de que no es un elemento que se encuentra de forma libre sobre la tierra, es uno de los elementos más abundantes de ésta ya que conforma numerosos compuestos químicos tales como el agua y la celulosa.

En la actualidad, cerca de un 95% de la producción mundial de este gas se obtiene a partir de combustibles fósiles mediante procesos donde se genera gas de síntesis; tal es el caso del reformado con vapor de gas natural o naftas ligeras, gasificación de carbón u oxidación de fracciones petrolíferas pesadas. El otro 5% de hidrógeno se obtiene por electrólisis del agua (4%) y de gasificación de biomasa (1%) [1]. Sin embargo, en el afán de suspender el uso de recursos no renovables y de bajar los costos actuales de su producción, se han venido desarrollando nuevas vías de obtención mediante procesos termoquímicos, procesos fotobiológicos, gasificación de biomasa y nuevas tecnologías de electrólisis del agua, entre otros [2].

Una de las alternativas que ha generado altas expectativas es la producción de hidrógeno a partir de rutas de conversión de biomasa (fuente renovable de energía) mediante procesos biológicos como la fermentación anaerobia. Este proceso consiste en la digestión de material orgánico por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno. Entre las ventajas que presenta esta tecnología están la capacidad de usar cualquier sustrato rico en carbohidratos, que sus tasas de producción de hidrógeno son más rápidas que las de otros procesos biológicos, costos de operación menores que otros métodos que requieren de energía lumínica y también que las comunidades microbianas utilizadas están disponibles en aguas residuales, compost anaeróbico o lodos profundos [3]. Estudios sobre la producción de hidrógeno a partir de la fermentación anaeróbica utilizando microorganismos de cepas puras, mixtas o simplemente presentes en aguas residuales, han venido obteniendo resultados satisfactorios con las bacterias de la familia conocida como los *Clostridium* [4]. Según Wang et al. [5], la fermentación anaeróbica estequiométricamente permite convertir 1 mol de glucosa en 2 moles de ácido acético más 4 y 2 moles de hidrógeno y dióxido de carbono, respectivamente.



Con la reacción anterior se tiene una relación significativamente baja de CO_2/H_2 con un valor de 0.5. Lo anterior es deseable porque permite una producción más pura de hidrógeno con una menor emisión de CO_2 , lo cual será beneficioso finalmente en la completa purificación de la corriente del gas de hidrógeno para las aplicaciones posteriores, como por ejemplo con celdas de combustible [5].

Al analizar el contexto nacional, se tiene que en Costa Rica la industrialización de los productos agrícolas genera un 86% del total de desechos de los sectores industriales. La utilización de estos residuos como una fuente alternativa de materiales de mayor valor agregado, resultaría ventajosa desde el punto de vista económico y ambiental [6]. La piña es la fruta de mayor producción en Costa Rica y se mantiene como el país de mayor exportación de piña fresca a nivel mundial. Para el año 2006 se tenían 22 400 ha sembradas con piña, pero para finales del 2010 esta cifra ya llegaba a las 45 000 ha cultivadas. Anualmente se producen 2 millones de toneladas de piña y los residuos sólidos de esta fruta correspondientes al corazón, la corona y la cáscara, equivalen a un 45% del total de cada fruta procesada [7]. Se pretende entonces estudiar la factibilidad técnica de la producción de hidrógeno a partir de este cuantioso desecho agroindustrial.

Materiales y métodos

Residuo agroindustrial de corazón de piña

El residuo sólido de corazón de piña fue brindado por la empresa Del Monte de la fábrica de congelados ubicada en Heredia, Costa Rica. Los corazones de piña corresponden a la variedad MD-2 conocida como Dorada Extra Dulce. Estos se extraían directamente del proceso y se usaban el mismo día de su recolección. Se licuó 1 kg de la materia prima durante 3 minutos y se coló para usarse solamente la fase líquida. En la figura 1 se muestran algunos de los corazones de piña usados como sustrato.



Figura 1. Residuo agroindustrial de corazón de piña

Lodos productores de hidrógeno y formulaciones de nutrientes

Se usaron lodos anaeróbicos extraídos de un reactor UASB de la planta de tratamiento anaerobia de aguas residuales de la empresa Alimentos Prosalud S.A., ubicada en Barranca Puntarenas, Costa Rica. Estos lodos se filtraron haciendo uso de una malla de 2 mm de apertura y posteriormente fueron tratados térmicamente a 95 °C por 30 min antes de su uso [8]. Así mismo se les realizó un análisis microbiológico y una caracterización física según los Métodos Estándar [9].

En la investigación se probaron dos formulaciones de nutrientes que se adicionaron al sustrato de corazón de piña para mejorar los rendimientos [10], [11]; estos se listan en el cuadro 1.

Fermentación anaeróbica en pequeña escala

Se realizó un diseño experimental tipo factorial 2^3 con dos replicas (8 condiciones, 16 experimentos). En los cuadros 2 y 3 se muestran las condiciones experimentales escogidas de las variables de estudio, así como la matriz del diseño. Los experimentos se realizaron en erlenmeyers de 125mL tapados con un septum, con un volumen de trabajo de 100 mL. Previo a la inoculación, la mezcla de sustrato y nutrientes se burbujeó con nitrógeno durante 2,5 minutos para obtener una atmósfera anaeróbica en cada erlenmeyer y posteriormente se realizó la esterilización (20 min, 121 °C, 101 kPa). Finalmente las mezclas se inocularon de forma tal de obtener una concentración de lodos al 50% (v/v), se le ajustó el pH al valor deseado y se pusieron dentro de una incubadora a una temperatura de 37 °C, sin agitación. El muestro se realizó cada 4 horas en un tiempo de 48 h.

Cuadro 1. Descripción mineral de las formulaciones de nutrientes Tipo 1 [10] y Tipo 2 [11].

Tipo 1			
Componentes	Cantidad (mg/L)	Componentes	Cantidad (mg/L)
Urea	4 000	Na ₂ MoO ₄	10
Peptona	3 000	CoCl ₂ ·6H ₂ O	200
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	21 500	AlK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	10
KH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	8 100	NiCl ₂ ·6H ₂ O	1
MgCl ₂ ·6H ₂ O	100	N[(CH ₂)COOH] ₃	2 000
FeSO ₄ ·7H ₂ O	200	Vitamina B12	10
L-cisteína	100	Vitamina C	25
MnSO ₄ ·7H ₂ O	10	Ácido cítrico	20
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	50	Ácido fólico	10
H ₃ BO ₃	10	Creatina	25
CaCl ₂ ·2H ₂ O	10	Ácido p-aminobenzoico	10
Tipo 2			
Componentes	Cantidad (mg/L)	Componentes	Cantidad (mg/L)
Urea	4 000	NH ₄ HCO ₃	5 240
Peptona	3 000	NH ₄ Cl	50
NaCl	1 000	NaHCO ₃	6 720
MnCl ₂ ·6H ₂ O	2,5	KI	12,5
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,1	CuSO ₄ ·5H ₂ O	5
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,1	ZnCl ₂	0,1
MnSO ₄ ·4H ₂ O	2,5	CaCl ₂ ·2H ₂ O	10
K ₂ HPO ₄	125	MgCl ₂ ·6H ₂ O	120
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1	NiCl ₂ ·6H ₂ O	2,5

Cuadro 2. Valores de los niveles de las variables de estudio del diseño factorial.

Variable	Abreviatura	Nivel Inferior (-)	Nivel superior (+)
pH inicial de la mezcla	V1	5,5	6,5
Concentración inicial de sustrato	V2	5 g/L	10 g/L
Formulación de nutrientes	V3	Tipo 1	Tipo 2

Fermentación anaeróbica en reactor de 5 L

Se realizaron tandas de fermentación en un fermentador de 5 L de capacidad (Electrolab FerMac 320) un pH inicial de 5,5, con una concentración inicial de sustrato de 5 (g glucosa)/L y usando la formulación de nutrientes Tipo 2. La agitación se fijó en una velocidad de 150 rpm utilizando dos impulsores de turbina de 6 aspas planas y la temperatura se mantuvo en 37 °C por medio de una chaqueta térmica eléctrica. El volumen de trabajo efectivo fue de 3 L y la

preparación del medio fue igual a la descrita anteriormente para las fermentaciones a pequeña escala. El muestreo se realizó a través de un septum ubicado en uno de los puertos localizados en la tapa del fermentador a cada hora posible durante un tiempo de 48 h.

Cuadro 3. Matriz estándar del diseño factorial 2³ aplicado.

Experimento	Condiciones V1		Condiciones V2		Condiciones V3	
	Nivel	Valor	Nivel	Valor	Nivel	Valor
1	-	5,5	-	5 g/L	-	Tipo 1
2	+	6,5	-	5 g/L	-	Tipo 1
3	-	5,5	+	10 g/L	-	Tipo 1
4	+	6,5	+	10 g/L	-	Tipo 1
5	-	5,5	-	5 g/L	+	Tipo 2
6	+	6,5	-	5 g/L	+	Tipo 2
7	-	5,5	+	10 g/L	+	Tipo 2
8	+	6,5	+	10 g/L	+	Tipo 2

Métodos analíticos

Para la cuantificación del hidrógeno producido en la fermentación se utilizó un cromatógrafo de gases (Agilent technologies 6890 N) equipado con un detector de conductividad térmica y la columna capilar Carboxen-1010 PLOT. La temperatura del puerto de inyección y del detector fueron 200 y 230 °C, respectivamente; la temperatura inicial y máxima de la columna fue 100 y 250 °C, respectivamente, con rampas de temperatura de 15 °C/min. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador a un flujo de 4 mL/min y presión de 4,97 psi. Las condiciones de trabajo se basan en una adaptación del método propuesto por Buitrón y Carvajal [12].

Para la caracterización fisicoquímica del corazón de piña se usaron los métodos presentados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Métodos empleados para la caracterización fisicoquímica del residuo agroindustrial de corazón de piña.

Propiedad	Método / Norma
Humedad	Horno gravimétrico / JIS 1557-70
Cenizas	Amador [13] / ASTM D1102-56
Fibra cruda	CINA / AOAC 962.09
Azúcares Reductores	Método espectrofotométrico de Nelson Somogyi
Glucosa	Método espectrofotométrico de Trinder
pH	pH-metro
Sólidos Solubles	Refractómetro PAL-1
[N], P, Ca, Mg, K, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B	[CIA-SC09-01-01-P06], CIA-SC09-01-01-P10

Modelo cinético para la simulación de la generación de hidrógeno

El modelo cinético utilizado para describir los datos experimentales se basa en la ecuación modificada de Gompertz:

$$H = Pm \cdot \exp \left\{ -\exp \left[\frac{Rm \times e}{Pm} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (2)$$

donde H es la cantidad acumulada de H_2 producido (mmol) a un tiempo de incubación t (h), Pm es la cantidad del potencial máximo de H_2 producido (mmol), e es el número de Euler 2,71828, λ es el tiempo requerido para comenzar la producción de H_2 (h) y Rm es la tasa de producción máxima de H_2 (mmol/h). Las constantes cinéticas (Pm , Rm y λ) fueron obtenidas mediante el ajuste del modelo a los datos experimentales mediante regresión no lineal haciendo uso del software Polymath versión 6.0.

Resultados y discusión

Análisis de los lodos

Al analizar los lodos en tubos PRAS, los cuales se inocularon con lodos con y sin pretratamiento térmico, se determinó que después de 72 horas a 37 °C, ambos tubos presentaron especies de bacterias mixtas en la tinción de Gram: bacilos Gram positivos esporulados con esporas centrales, subterminales y terminales; bacilos Gram negativos y cocos Gram positivos. También, después de 48 horas a 37 °C se obtuvo que las placas de agar sangre en atmósfera aerobia presentaron morfología colonial mixta: bacilos Gram negativos entéricos y no entéricos como *Bacillus* s.p., *Streptococcus* s.p. y *Staphylococcus* s.p. En las placas de agar sangre con Neomicina en atmósfera anaerobia, las dos placas presentaron crecimiento de un tipo de *Clostridium* s.p. casi en cultivo puro e idéntico en ambos casos, formador de swarming. Adicional a los exámenes microbiológicos, se hizo una caracterización física de los lodos madre cuyos resultados aparecen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Sólidos sedimentables totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos totales y densidad aparente de los lodos madre usados

Sólidos sedimentables Totales (mL lodo/mL muestra)	Sólidos suspendidos volátiles (g/L)	Sólidos suspendidos totales (g/L)	Densidad aparente (g/mL)
7,5/35	1,7086	2,3257	0,0109

Caracterización fisicoquímica del residuo agroindustrial de corazón de piña

En el cuadro 6 se muestra la composición fisicoquímica obtenida en la caracterización del corazón de piña utilizado como materia prima en la investigación.

Se obtuvo que en cada gramo de corazón de piña hay 0,113 g de azúcares reductores y 0,0114 g de glucosa. Por esta razón es que el residuo agroindustrial de corazón de piña sobresale como un material rico en carbohidratos que se podrían llegar a fermentar fácilmente para la producción de hidrógeno u otros metabolitos de interés.

Cuadro 6. Composición fisicoquímica del corazón de piña usado como sustrato

Propiedad	Cantidad promedio	Desviación estándar	Unidad
Humedad	86,14	1,43	%
Cenizas (base seca)	1,31	0,24	%
Fibra cruda (g/100 g muestra)	8,3	0	%
Azúcares Reductores (1 g piña)	0,113	0,002	g/L
Glucosa (40 g piña)	0,455	0,029	g/L
pH	3,90	0	pH
Sólidos Solubles	10,03	0,81	°Brix
Nitrógeno (base seca)	0,58	0	%
Fósforo (base seca)	0,05	0	%
Calcio (base seca)	0,06	0,01	%
Magnesio (base seca)	0,12	0,01	%
Potasio (base seca)	1,24	0,35	%
Azufre (base seca)	0,07	0,01	%
Hierro (base seca)	23,5	10,6	mg/kg
Cobre (base seca)	9,00	0	mg/kg
Zinc (base seca)	43,5	51,62	mg/kg
Manganeso (base seca)	81,5	44,55	mg/kg
Boro (base seca)	5,50	0,71	mg/kg

Fermentaciones en pequeña escala: Efectos de la concentración inicial de sustrato, del pH inicial del medio de fermentación y del tipo formulación de nutrientes sobre el rendimiento en la producción de hidrógeno

Con los datos cinéticos recopilados para cada uno de los 16 experimentos realizados en esta etapa, se procedió a calcular los parámetros cinéticos según la ecuación modificada de Gompertz (Rm , λ y Pm), y a partir de ellos el promedio y desviación estándar para cada una de las 8 condiciones (corridas) analizadas. Los valores obtenidos se muestran en el cuadro 7 y a partir de su análisis se observa que bajo las condiciones de las corridas 5, 7 y 8 son con las que hay una mayor producción de hidrógeno (Pm mayores). Sin embargo, hay una diferencia notable en el tiempo de inicio de producción de hidrógeno (λ) entre las corridas 5 y 7 ($\lambda = 7,398$ h y $7,906$ h), y la 8 ($\lambda = 22,974$ h). Se analiza también que en las corridas 5, 6, 7 y 8 llevadas a cabo con el tipo de formulación de nutrientes Tipo 2, se produjo mayor cantidad de hidrógeno que en las corridas 1, 2, 3 y 4 llevadas a cabo con la formulación Tipo 1.

Un aspecto importante de comentar es el hecho que en el análisis de los gases producidos durante el proceso de fermentación, no se detectaron cantidades significativas de metano. Esto indica que el pretratamiento térmico realizado a los lodos, además del pH utilizado en las pruebas, son efectivos para favorecer la producción selectiva de hidrógeno.

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental, se utilizó como variable respuesta el rendimiento en la producción de hidrógeno (Y_{H_2}) con unidades de (mol H_2 producido)/(mol de glucosa consumida). Este se calculó dividiendo la constante cinética de máxima producción de hidrógeno (Pm) entre los moles consumidos de glucosa en cada corrida. En el cuadro 8 se

exponen los valores de rendimiento calculados, así como los efectos e interacciones obtenidos en el análisis estadístico. Con los datos de las varianzas entre experimentos se calculó un intervalo de no significancia estadística a un valor de 95% de confianza, el cual resultó ser [-0,0064; 0,0064]. Bajo estos resultados, los efectos de las variables 2 (concentración inicial de sustrato) y 3 (formulación de nutrientes) resultaron ser significativos.

Cuadro 7. Parámetros cinéticos estimados para las fermentaciones realizadas

Parámetro	Condiciones según la matriz estándar del diseño							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Promedio								
Pm (mmol)	0,648	0,669	0,844	0,605	1,188	0,824	1,145	1,201
Rm (mmol/h)	4,294	0,971	0,088	3,639	0,069	0,044	0,095	0,038
λ (h)	6,972	5,601	5,889	6,317	7,398	26,123	7,906	22,97
Desviación estándar								
Pm (mmol)	0,028	0,058	0,038	0,052	0,102	0,058	0,019	0,032
Rm (mmol/h)	0,038	1,279	0,002	0,114	0,000	0,004	0,020	0,003
λ (h)	0,182	0,869	0,615	0,662	0,616	1,416	2,751	0,087

Cuadro 8. Rendimiento en la producción de hidrógeno obtenido bajo las diferentes condiciones experimentales, así como sus efectos e interacciones.

Corrida	Y_{H_2}		Y_{H_2} promedio	Valor Efecto o Interacción
	Replica I	Replica II		
1	0,0251	0,0250	0,0250	$\mu = 0,0318$
2	0,0261	0,0298	0,0280	E1 = 0,00364
3	0,0229	0,0184	0,0206	E2 = -0,00861
4	0,0122	0,0328	0,0225	E3 = 0,01548
5	0,0513	0,0455	0,0484	I12 = 0,00494
6	0,0443	0,0415	0,0429	I13 = 0,00124
7	0,0262	0,0253	0,0257	I23 = -0,00369
8	0,0418	0,0403	0,0410	I123 = 0,00549

En el caso del efecto 2 (-0,00861) el signo negativo indica que a menores concentraciones de sustrato inicial se favorece el rendimiento en la producción de hidrógeno. Este fenómeno se ha reportado ampliamente en la literatura y se explica debido a procesos de inhibición tanto por el sustrato utilizado, como por productos generados durante el proceso de fermentación (ácidos, alcoholes y hasta el mismo hidrógeno) [14]. El valor del efecto 3 (0,01548) indica que si se hace uso de la formulación de nutrientes Tipo 2 se obtiene mayor rendimiento en la producción de hidrógeno. Además, este efecto presenta el valor absoluto más alto, por lo que se convierte en el efecto más influyente sobre la variable de respuesta. La formulación Tipo 2 está compuesta por elementos metálicos tales como Zn, Na, Fe y Mn, los cuales ayudan en el transporte y en los cofactores de enzimas, dando mejores resultados en las fermentaciones de producción

de hidrógeno que en las que se han realizado sobre el medio de cultivo convencional [11]. El efecto 1, asociado al pH inicial de la mezcla, no resultó significativo, por lo que se podría usar en cualquiera de los dos niveles estudiados en una siguiente etapa de experimentación.

Para hacer válida la interpretación de los resultados, los supuestos del modelo estadístico se comprobaron mediante un análisis de residuos. En la figura 2 se muestran las gráficas de calificación normal y de dispersión de los residuos. En la gráfica de calificación normal (figura 2a) los datos se ajustan a una línea recta que pasa por el origen, por esta razón se cumple con el supuesto de normalidad. En la gráfica de distribución normal (figura 2b) se tienen los residuos distribuidos de manera aleatoria sin una tendencia o patrón contundente, por lo que el modelo cumple con el supuesto de varianza constante.

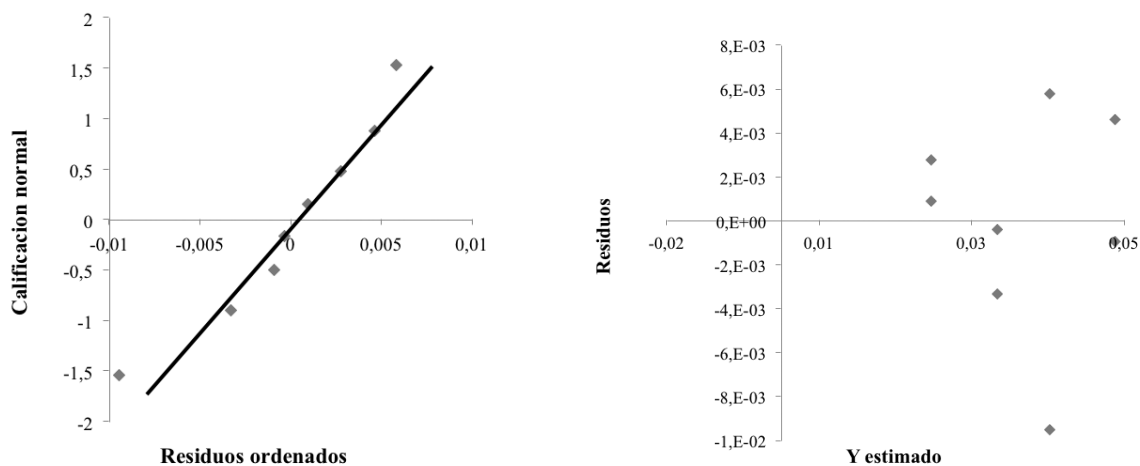


Figura 2. Comprobación de los supuestos del modelo obtenidos para el análisis de residuos: (a) Calificación normal; (b) Varianza constante

Producción de hidrógeno en un fermentador de 5 L

Con la idea de estudiar el proceso de fermentación a una mayor escala, se llevó a cabo el proceso a las condiciones correspondientes a la corrida 5 de la etapa anterior. Esto debido a que bajo estas condiciones se obtuvo el mayor rendimiento (0,0484 mol H₂/mol glucosa consumida) y porque cumple con las condiciones deducidas como favorables del análisis estadístico: la variable 2 en su nivel inferior (5 g de glucosa/L) y la variable 3 en su nivel superior (formulación Tipo 2). El pH inicial se estableció en el valor inferior de 5,5. Los datos de producción de hidrógeno obtenidos se muestran en la Figura 3, así como la curva de ajuste del modelo cinético utilizado; así mismo, en el cuadro 9, se presentan los valores numéricos obtenidos de las constantes cinéticas *R_m*, *λ* y *P_m*.

Como se puede apreciar en la Figura 3 y de los datos del cuadro 9, el tiempo de rezago en la producción de hidrógeno fue de aproximadamente 16 h, la fase exponencial se extendió hasta aproximadamente las 26 horas y la producción máxima de hidrógeno fue de 41,2 mmol. La fermentación realizada en el reactor de 5 L se llevó a cabo a un volumen de reacción 30 veces más grande que las realizadas en pequeña escala y hubo una producción de hidrógeno 35 veces mayor. La mayor producción se puede deber a una mejor transferencia de masa en el fermentador de 5 L debido a la agitación mecánica que se propició, lográndose aprovechar un 8% más del sustrato inicial.

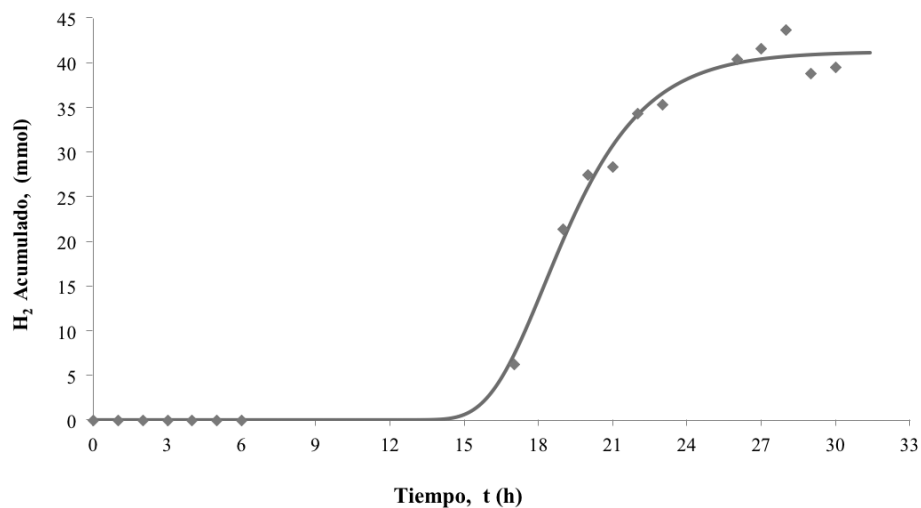


Figura 3. Hidrógeno acumulado obtenido en el fermentador de 5 L

Cuadro 9. Parámetros cinéticos obtenidos para la corrida en el fermentador de 5 L

Pm (mmol)	Rm (mmol/h)	λ (h)
41,227	6,740	16,0

Para las fermentaciones anaeróbicas donde se usan primordialmente bacterias acidogénicas como las *Clostridium* se tiene un rendimiento teórico de producción de hidrógeno relativamente bajo: 4 (mol H₂)/(mol de hexosa), según lo discuten Lo et al. [15]. El rendimiento obtenido en este estudio fue de 1,54 (mol H₂)/(mol de glucosa consumida) y representa un 38,5% del valor teórico que podría llegarse a obtener. Sin embargo, este es un valor que se encuentra dentro del ámbito de rendimientos que se han obtenido en otros estudios reportados en la literatura, tal como se compara en el cuadro 10.

Cuadro 10. Comparación de algunos rendimientos de H₂ obtenidos en fermentaciones anaeróbicas en sistemas por tandas reportados en la literatura.

Configuración del sistema	Sustrato	Microorganismo	Y _{H₂} (mol H ₂ /mol de S consumido)	Referencia
Batch	Sacarosa	<i>Clostridium butyricum</i>	2,78	[16]
Batch	Hexosa añadida	Lodo anaeróbico	1,29	[17]
Batch	Glucosa	<i>Clostridium beijerinckii</i>	1,97	[18]
Batch	Glucosa	Thermotoga	0,53	Citado en [10]
Batch	Extracto desecho piña	Lodo anaeróbico	1,83	[19]
Batch	Glucosa	<i>Clostridium butyrium</i>	2,02	[20]
Batch	Extracto desecho piña	Lodo anaeróbico	1,54	Este estudio

Al caldo final de fermentación se le realizó un análisis de demanda química de oxígeno (DQO) para determinar las características de las eventuales corrientes de desecho de este proceso. El valor obtenido fue de 21 105 mg/L, evidenciando el altísimo contenido de materia orgánica aún disponible en ese caldo. Estas mezclas, debido a su rico contenido en ácidos carboxílicos, podrían utilizarse para producir más biohidrógeno a través de procesos fotofermentativos, o bien metano, utilizando bacterias metanogénicas.

Conclusiones

Después de finalizar la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El pretratamiento térmico de los lodos y el pH empleado fueron efectivos en impedir el crecimiento de bacterias vegetativas metanogénicas debido a que no se detectó metano significativamente como producto secundario.
- El residuo agroindustrial de corazón de piña sobresale como un material rico en carbohidratos que se puede llegar a fermentar fácilmente para la producción de hidrógeno u otros metabolitos de interés, conteniendo en promedio 0,113 g de azúcares reductores y 0,0114 g de glucosa por cada gramo de corazón de piña.
- Se obtuvo un rendimiento máximo de producción de hidrógeno de 1,54 (mol H₂)/(mol de glucosa consumida) bajo las siguientes condiciones de trabajo: pH inicial de 5,5, concentración inicial de sustrato de 5 (g glucosa)/L y usando la formulación de nutrientes basada en magnesio, hierro, zinc y sodio.
- El caldo de fermentación final podría reutilizarse para producir más hidrógeno por medio de fotofermentación o para la generación de metano.
- Los resultados obtenidos sugieren que los residuos de corazón de piña podrían ser utilizados como una fuente renovable para la producción de hidrógeno.

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer la valiosa colaboración de las personas que nos ayudaron en los siguientes lugares: Universidad de Costa Rica (Escuela de Ingeniería Química, CELEQ, Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio de Tecnología Poscosecha, Laboratorio de Productos Forestales, Facultad de Microbiología y CIPRONA), Congelados Del Monte Costa Rica y Alimentos ProSalud Costa Rica.

Referencias

- [1] H. Balat y E. Kirtay, "Hydrogen from biomass – Present scenario and future prospects", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, pp. 7416–7426, 2010.
- [2] C. M. Kalamaras y A. M. Efstathiou, "Hydrogen Production Technologies: Current State and Future Developments," *Conf. Papers in Energy*, vol. 2013, Article ID 690627, 9 pages, 2013.
- [3] S. Manish y R. Banerjee, "Comparison of biohydrogen production processes", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 279– 286, 2008.
- [4] G. Davila, S. Arriaga, L. M. Rosales y E. Razo, "Fermentative biohydrogen production: trends and perspectives", *Rev. Env. Sci. and Biotech.*, vol. 7, no. 1, pp. 27–45, 2008.
- [5] C. H. Wang, P. J. Lin y J. S. Chang, "Fermentative conversion of sucrose and pineapple waste into hydrogen gas in phosphate-buffered culture seeded with municipal sewage sludge", *Process Biochemistry*, vol. 41, pp. 1353–1358, 2006.



- [6] M. Moya, "Producción y aprovechamiento de desechos agroindustriales en América Latina" en *Development of environmentally compatible polymers from biowaste*, Heredia, Costa Rica, 2001, pp. 76–83.
- [7] O. Bolaños y H. Hermosilla, "El amargo sabor de la expansión piñera", en *Cuaderno de Educación Popular*. Limón, Costa Rica: Pastoral Social, Diócesis de Limón, 2005
- [8] J. H. Woo y Y. C. Song, "Influence of temperature and duration of heat treatment used for anaerobic seed sludge on biohydrogen fermentation", *KSCE J. of Civil Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 141–147, 2010.
- [9] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association, 1999.
- [10] C. M. Pan, Y. T. Fan, P. Zhao y H. W. Hou, "Fermentative hydrogen production by the newly isolated *Clostridium Beijerinckii* Fanp3", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 5383–5391, 2008.
- [11] C. Y. Lin y C. H. Lay, "A nutrient formulation for fermentative hydrogen production using anaerobic sewage sludge microflora", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 30, pp. 285–292, 2005.
- [12] G. Buitrón y C. Carvajal, "Producción de hidrógeno a partir de aguas residuales", *Rev. Digital Univ. UNAM*, vol. 10, no. 8, pp. 18–23, 2009.
- [13] J. L. Amador, "Evaluación del efecto del tamaño de partícula, tiempo de pretratamiento y concentración de hidróxido de sodio en la hidrólisis enzimática del bagazo de caña de azúcar", Proyecto de graduación, Esc. Ing. Química, Universidad Costa Rica, San José, Costa Rica, 2009.
- [14] S. A. Sherif, D. Y. Goswami, E. K. Stefanokos y A. Steinfeld, *Handbook of Hydrogen Energy*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2014.
- [15] Y. C. Lo, C. Y. Chen, C. M. Lee y J. S. Chang, "Sequential dark-photo fermentation and autotrophic microalgal growth for high-yield and CO₂-free biohydrogen production", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, pp. 10944–10954, 2010.
- [16] W. M. Chen, Z. J. Tseng, K. S. Lee y J. S. Chang, "Fermentative hydrogen production with *Clostridium butyricum* CGS5 isolated from anaerobic sewage sludge", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 30, no. 10, pp. 1063–1070, 2005.
- [17] K. W. Jung, D. H. Kim, H. S. Shin, "Continuous fermentative hydrogen production from coffee drink manufacturing wastewater by applying UASB reactor", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 24, pp. 13370–13378, 2010.
- [18] X. Zhao, D. Xing, N. Fu, B. Liu y N. Ren, "Hydrogen production by the newly isolated *Clostridium beijerinckii* RZF-1108", *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 18, pp. 8432–8436, 2011.
- [19] A. Reungsang y C. Sreela-or, "Bio-Hydrogen Production from Pineapple Waste Extract by Anaerobic Mixed Cultures", *Energies*, 6, pp. 2175–2190, 2013.
- [20] D. Jiang, Z. Fang, S. X. Chin, X. F. Tian y T. C. Su, "Biohydrogen Production from Hydrolysates of Selected Tropical Biomass Wastes with *Clostridium Butyricum*", *Scientific Reports*, vol. 6, Article number: 27205, 2016.

Radiografía Industrial: comparación entre el método tradicional y digital empleando rayos X

Industrial Radiography: comparison between traditional and digital method using X-ray

Oscar Chaverri-Quirós¹, Mario Conejo-Solís²

Fecha de recepción: 29 de agosto de 2016
Fecha de aprobación: 2 de noviembre de 2016

Chaverri-Quirós, O; Conejo-Solís, M. Radiografía Industrial: comparación entre el método tradicional y digital empleando rayos X. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 119-128.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3278



- 1 Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ochaverri@itcr.ac.cr.
- 2 Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mconejo@itcr.ac.cr.



Palabras clave

Ensayo no destructivo; radiación; radiografía digital; discontinuidad; inspección.

Resumen

Hoy día, la radiografía industrial es uno de los métodos más utilizados en el control no destructivo de diferentes procesos de fabricación de piezas o componentes industriales. Este se basa en la interacción de ondas electromagnéticas de alta energía (rayos X o gamma) con la materia. Esta radiación de alto poder de penetración puede originarse en un equipo eléctrico o en un radioisótopo, tiene la capacidad de atravesar el material y dejar una impresión del objeto estudiado. La gran ventaja de éste método en comparación con otros, radica en la posibilidad de dejar un registro permanente o imagen real de la pieza u objeto analizado, pudiéndose observar cualquier anomalía o discontinuidad presente y permitiendo guardar dicha imagen para estudios posteriores. La técnica tradicional de radiografiado consiste en la interacción de la radiación con la materia, obteniéndose una imagen permanente del objeto en estudio a través de la exposición de una película radiográfica fabricada de un material polimérico (acetato) recubierto por una emulsión fotosensible, sometiendo posteriormente dicha placa a un proceso de revelado empleando químicos especiales que hacen que la imagen capturada sea visible al inspector. En la actualidad se ha venido reemplazado la película radiográfica por un dispositivo electrónico llamado "caset" el cual tiene la misma función de capturar la imagen del objeto, pero sin la necesidad de pasar por el proceso químico de revelado y con una mejora sustancial en la definición de la imagen final obtenida. Además, presenta la posibilidad de modificar dicha imagen lograda. En el presente trabajo se realiza una comparación entre la radiografía tradicional y la digital constituida por un emisor de pulsos de rayos X y una pantalla electrónica, ambas técnicas empleadas para inspeccionar diversos componentes y así determinar las ventajas de utilizar una u otra.

Keywords

Nondestructive testing; radiation; digital radiography; discontinuity; inspection.

Abstract

Today, industrial radiography is one of the most used methods in the nondestructive control of different manufacturing processes of parts or industrial components. This is based on the interaction of high-energy electromagnetic waves (X-rays or gamma) with matter. This radiation of high penetrating power may originate from electrical equipment or a radioisotope, has the ability to pass through the material and leave an impression of the object studied. The great advantage of this method compared with others, lies in the possibility of leaving a permanent record or real image of the part or object analyzed, being able to observe any anomalies or discontinuity present and save the image allowing for further studies. The traditional technique of radiography involves the interaction of radiation with matter, obtaining a permanent image of the object being studied by exposing a radiographic film made of a polymeric material (acetate) coated with a photosensitive emulsion, subjecting later this film to a revealed process using special chemicals that make the captured image is visible to the inspector. Today has been replaced radiographic film by an electronic device called "cassette" which has the same function to capture the image of the object, but without pass through the chemical developing process and a substantial improvement in the definition of the final image obtained. It also presents the possibility of change the obtained image. In the present work we present a comparison between

traditional and digital radiography which consists of a transmitter pulse X-ray and an electronic display, both techniques used to inspect various components and determine the advantages of using one or the other.

Introducción

W.C Roentgen se convirtió en el descubridor de los rayos X el 8 de noviembre de 1895 cuando observó cierta fluorescencia de cristales que se encontraban en una mesa cerca de su tubo de rayos catódicos [1] El caracterizó sistemáticamente la penetración de la radiación emitida por el tubo de rayos catódicos [2] durante noviembre y diciembre de 1895 e incluso envió cartas navideñas a sus compañeros científicos con imágenes de una mano humana (figura 1) y objetos metálicos dentro de cajas de madera cerradas. Dichas imágenes representaban las primeras radiografías.



Figura 1. Una de las primeras radiografías tomadas en 1895.

Posterior al descubrimiento, les fue relativamente sencillo a los científicos repetir el experimento y esto permitió ir desarrollando equipos mejorados que a su vez facilitó en ese momento la inspección de paquetes postales, porcelanas, piedras preciosas, armas e incluso se utilizó para diagnóstico médico. Los primeros equipos de rayos X no eran confiables, eran difíciles de controlar y producían muy bajas intensidades de radiación. Sin embargo, hubo un gran avance al implementarse los tubos de rayos X al alto vacío en el año 1913. A partir de ese momento se alcanzaron potenciales de 100 KV con lo cual se pudo radiografiar partes de aeronaves, construcciones hechas con madera y varios metales. En el año 1931 la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (por sus siglas en inglés ASME) permitió la utilización de los rayos X para la aprobación de soldaduras por fusión de recipientes a presión. De ahí en adelante, el hecho de contar con equipos de mayor potencia ha permitido alcanzar estudios en materiales metálicos de hasta 30 cm de espesor [3].

En sí la radiografía es un método para obtener una imagen de un sólido utilizando radiación de tipo X o gamma (γ). La imagen obtenida es la proyección sin detalles de profundidad del sólido

analizado. Las imágenes impresas en el filme se les conoce como radiografías. El contraste en una radiografía se debe a la diferencia de absorción de la radiación del objeto y depende de las variaciones de espesor, constitución química, densidad, discontinuidades o procesos de dispersión dentro del espécimen. La radiación debe ser generada y proyectada a través del objeto para obtener buen contraste y definición de la imagen, además de que se requiere acceso por ambos lados del objeto y del revelado de la información en un cuarto oscuro empleando químicos especiales [4]. En la figura 2 se muestra la configuración empleada para una toma radiográfica de una placa soldada utilizando una fuente radiactiva y registrándose la imagen en un acetato con una emulsión fotosensible (película radiográfica).

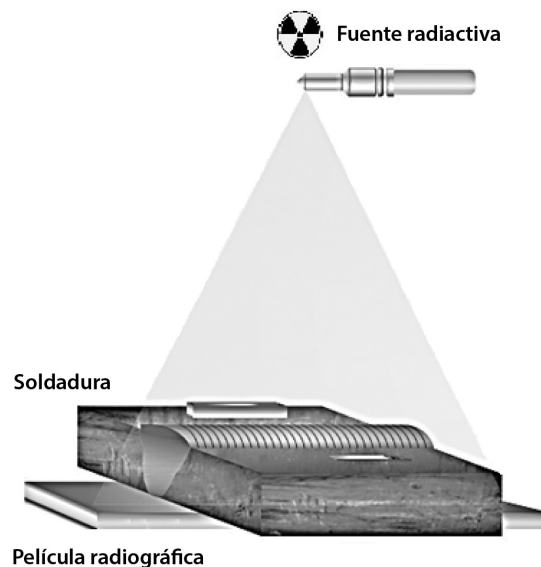


Figura 2. Configuración utilizada para la toma de una radiografía en una placa soldada.

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido desarrollar la radiografía digital [5] [6] que consiste en un detector en el cual la imagen obtenida por rayos X se observan directamente en una computadora sin necesidad de emplear químicos de revelado o un escaneo intermedio. En la figura 3 se muestra el equipamiento completo empleado en radiografía digital. En este método, la radiación incidente es convertida equivalentemente en cargas eléctricas y luego en una imagen digital gracias a un sensor ubicado en el detector [7]. Comparado con otros métodos de adquisición de imágenes, dicha tecnología provee una muy buena calidad de imagen gracias a su alto contraste entre las áreas de diferente densidad, convirtiéndose en una poderosa herramienta para la detección de discontinuidades en diferentes tipos de materiales [8] [9]. Las demás condiciones necesarias para una toma radiográfica deben mantenerse, como por ejemplo la fuente radiactiva, la distancia fuente-detector, el tiempo de exposición y la densidad radiográfica necesaria para obtener un contraste adecuado en la imagen.

Materiales y métodos

Con el fin de comparar las ventajas de la tecnología digital con respecto al método tradicional de radiografiado empleando una fuente de radiación de tipo X, se han sometido diferentes componentes metálicos con ciertos tipos de discontinuidades de manera que se puedan determinar las ventajas operativas y calidad de imagen entre ambos métodos de inspección.

En la figura 4 se muestran los materiales empleados en el ensayo que constan de dos tubos de acero inoxidable y una placa de acero al carbono, las cuales presentan soldaduras y algunas discontinuidades artificiales.

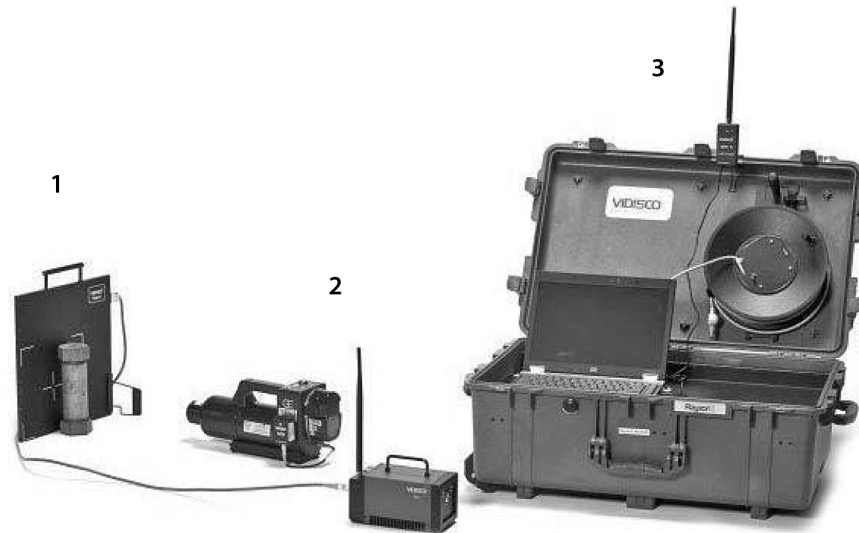


Figura 3. Configuración utilizada en radiografía digital con emisor de rayos X de pulsos: (1) detector y pieza en estudio, (2) fuente radiactiva, (3) centro de procesamiento de la información empleando computadora portátil.

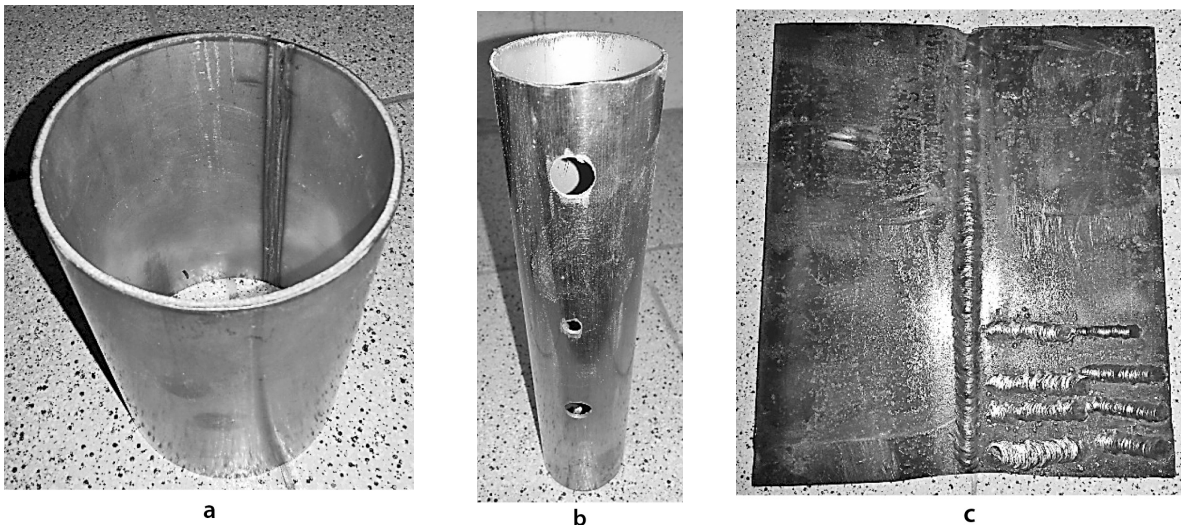


Figura 4. Piezas con diferentes configuraciones: (1) tubo de acero inoxidable con soldadura longitudinal, (2) tubo de acero inoxidable con agujeros de diferentes diámetros, (3) placa de acero con soldadura longitudinal.

Piezas para ensayo

Para el experimento se emplearán tres tipos de probetas cuyas características son las siguientes:

- Tubo de acero inoxidable AISI-304 con soldadura longitudinal, espesor de pared de 2,65 mm, diámetro externo de 102,75 mm y largo total de 151,86 mm.

- Tubo de acero inoxidable AISI-304 con agujeros, espesor de pared de 1,15 mm, diámetro externo de 50,92 mm y largo total de 150,36 mm.
- Placa de acero AISI 1020 con soldaduras longitudinales y transversales obtenidas mediante soldadura manual eléctrica con electrodo revestido, espesor de pared de 12,60 mm, ancho de 260,13 mm y un largo de 300,54 mm.

Equipo de rayos X

- Radiografía tradicional: se utiliza un tubo de rayos X marca Toshiba, modelo EX 250 G2, con potencial máximo de 250 KV y corriente de filamento variable. El peso del tubo es de 50 Kg.
- Radiografía digital: se utiliza un generador marca Vidisco con potencial máximo de 270 KV y corriente ajustable. El peso del equipo es de 5,4 Kg.

Película/detector

- Radiografía tradicional: se emplean placas radiográficas Structurix D7, con pantallas intensificadoras de plomo, ancho de película de 7 cm y revelado manual.
- Radiografía digital: se emplea un detector o caset RazorX Pro de 360x330x 13 mm, con un peso de 3,5 Kg y un área efectiva de imagen de 222x222 mm. Resolución de 3,5 lp/mm (líneas por mm).

Condiciones de exposición

Las condiciones de exposición de las piezas a la radiación tanto para la radiografía tradicional como para la digital se muestran en la figura 5.

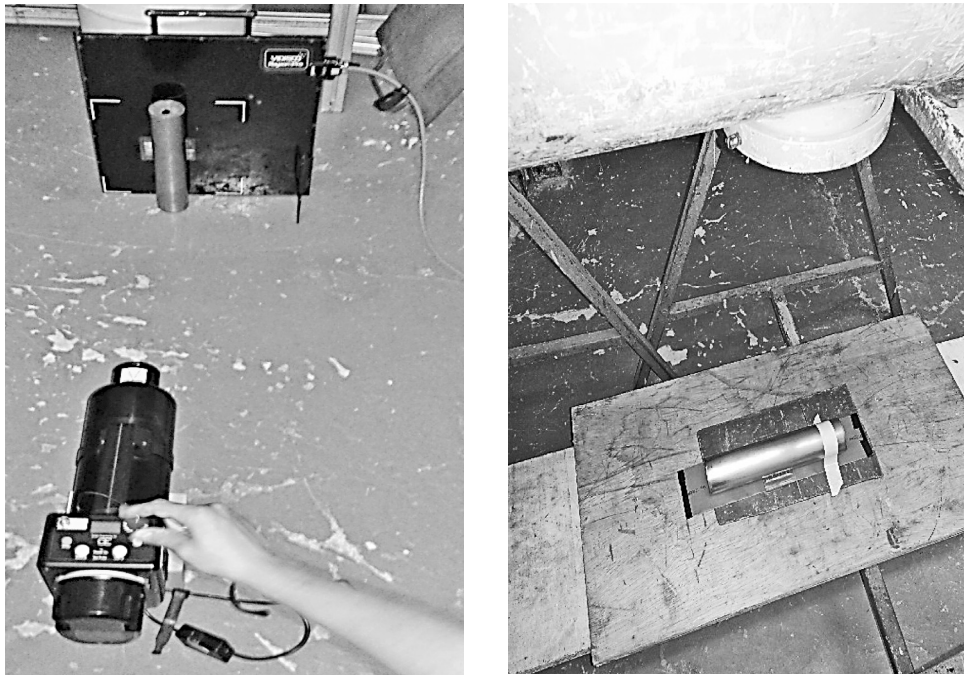


Figura 5. Condiciones de exposición y colocación de los equipos en ambos métodos. A la izquierda el método digital donde se observa el caset o detector y a la derecha el método tradicional donde se observa el tubo y la placa radiográfica.

Método tradicional

Tubo con soldadura longitudinal

- Distancia fuente-película: 70 cm
- Indicadores de calidad de imagen (ICI): agujeros #7 y #15; de hilo ASTM SET B
- Kilovoltaje: 140 KV
- Miliamperaje: 3 mA
- Tiempo de exposición: 1,75 minutos

Tubo con agujeros

- Distancia fuente-película: 70 cm
- Indicadores de calidad de imagen (ICI): agujeros #7 y #15; de hilo ASTM SET B
- Kilovoltaje: 120 KV
- Miliamperaje: 3 mA
- Tiempo de exposición: 1,2 minutos

Placa soldada

- Distancia fuente-película: 70 cm
- Indicadores de calidad de imagen (ICI): agujeros #7 y #15; de hilo ASTM SET B
- Kilovoltaje: 200 KV
- Miliamperaje: 4 mA
- Tiempo de exposición: 2 minutos

Radiografía digital

Tubo con soldadura longitudinal

- Distancia fuente-película: 70 cm
- Indicadores de calidad de imagen (ICI): agujeros #7 y #15; de hilo ASTM SET B
- Kilovoltaje: 70 KV
- Miliamperaje: 4 mA
- Tiempo de exposición: 8 segundos

Tubo con agujeros

- Distancia fuente-película: 70 cm
- Indicadores de calidad de imagen (ICI): agujeros #7 y #15; de hilo ASTM SET B
- Kilovoltaje: 70 KV
- Miliamperaje: 4 mA
- Tiempo de exposición: 5 segundos

Placa soldada

- Distancia fuente-película: 70 cm
- Indicadores de calidad de imagen (ICI): agujeros #7 y #15; de hilo ASTM SET B
- Kilovoltaje: 100 KV

- Miliamperaje: 4 mA
- Tiempo de exposición: 12 segundos

Revelado

- Radiografía tradicional: se emplean líquidos de revelado marca Agfa, con tiempo de revelado de 5 minutos, tiempo de fijado de 10 minutos y tiempo de secado de 60 minutos.
- Radiografía computarizada: no requiere revelado

Evaluación

- Radiografía tradicional: se observan las placas con una fuente de luz de 800 lux. Se mide la densidad radiográfica y se obtiene un valor promedio de 2 unidades (adimensional) para todas las películas. Las placas se fotografían para obtener un registro digital de la imagen.
- Radiografía computarizada: se emplea el software Xbit de Vidisco.

Resultados

Las imágenes obtenidas por ambos métodos se muestran en las figuras 6, 7 y 8.

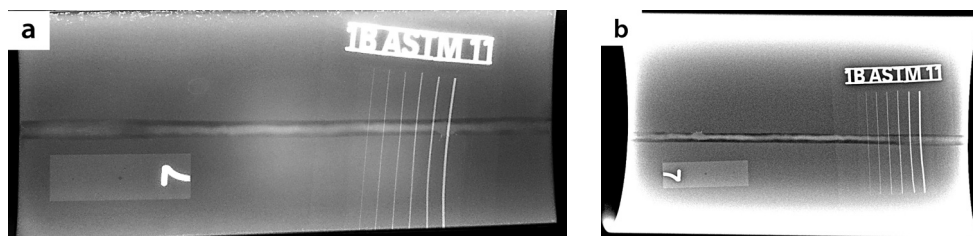


Figura 6. Comparación entre la placa radiográfica obtenida mediante el método tradicional (1) y empleando radiografía digital (2), para el tubo de acero inoxidable AISI-304 con soldadura longitudinal.



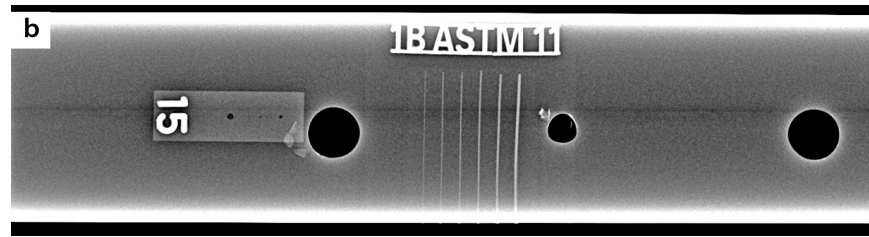


Figura 7. Comparación entre la placa radiográfica obtenida mediante el método tradicional (1) y empleando radiografía digital (2), para el tubo de acero inoxidable AISI-304 con agujeros.

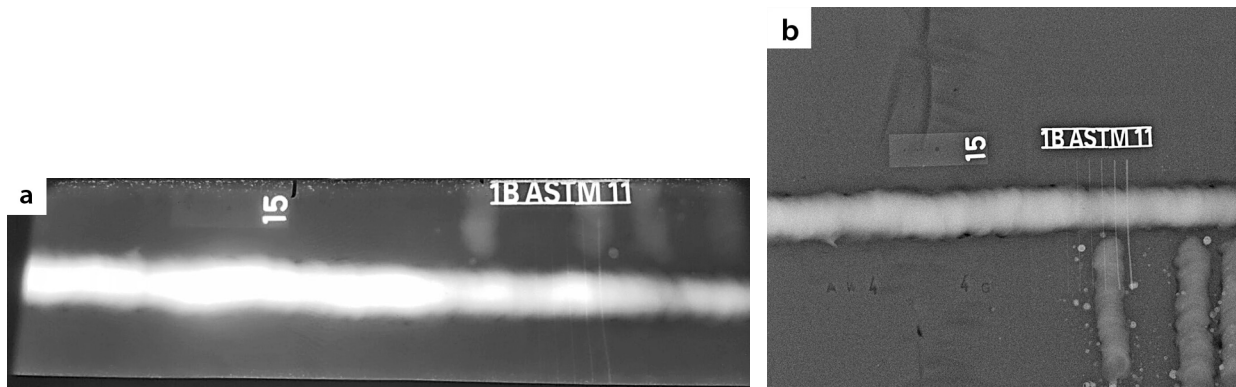


Figura 8. Comparación entre la placa radiográfica obtenida mediante el método tradicional (1) y empleando radiografía digital (2), para la placa de acero AISI-1020 soldada longitudinalmente.

Desde el punto de vista de operación, para el caso de la radiografía tradicional se deben emplear equipos de mayor peso que los generadores empleados en radiografía digital. Un equipo de rayos X de última generación con potencial de 270 KV puede pesar alrededor de los 30 kg por lo que se podría establecer un ahorro de peso cercano al 70 % para los equipos digitales (generador más detector). La condición de peso es fundamentalmente importante sobre todo en los trabajos que se realizan en campo, ya que el posicionamiento del tubo muchas veces requiere de equipo especial o mano de obra para ejecutar esta acción. Otra consideración importante es el hecho de que el detector o caset tiene una forma plana lo que no permite adaptarse completamente a la geometría de la pieza como sí lo hacen las películas empleadas en método tradicional. En cuanto a tiempos de exposición, la radiografía digital ofrece una sustancial reducción de los tiempos para conseguir una imagen de alta definición. Los tiempos de radiografiado se ven reducidos para el caso nuestro hasta en un 95% lo que tiene como consecuencia una reducción de ese mismo nivel de la tasa de dosis absorbida por el operario a la hora de exponerse a las radiaciones ionizantes. El revelado es una parte del proceso que se evita en el caso de la tecnología digital, trayendo consigo una consecuencia positiva para el medio ambiente al ahorrarse los químicos de revelado, que si bien es cierto la mayoría de éstos no son contaminantes, en todo caso es preferible no utilizarlos y así obtener un ahorro en consumibles y espacio físico por no ser necesario tener un cuarto oscuro para el revelado. Además del ahorro del tiempo de revelado y su costo, una de las principales mejoras con el hecho de emplear software para el tratamiento de la información obtenida es el aumento significativo en la resolución y definición de las imágenes, además de poder mejorar la definición de los detalles que se desean resaltar. No existe una forma de calcularlo en términos de porcentaje, sino que este efecto puede observarse gracias al empleo de indicadores de

calidad de imagen (agujeros e hilos). Una condición aceptable es trabajar con un nivel de sensibilidad 2T correspondiente al agujero de diámetro intermedio del indicador, lo cual significa que eventualmente se podría observar una discontinuidad igual o mayor a ese diámetro. En las imágenes obtenidas con radiografía digital se logra apreciar con mucho detalle el agujero de menor diámetro (1T), lo cual indica que el nivel de sensibilidad aumenta.

Conclusiones

- Con el empleo de la radiografía digital se puede obtener un ahorro en tiempo efectivo de la realización de una toma radiográfica de un 95% respecto de la radiografía convencional.
- El ahorro de tiempo de radiografiado empleando métodos digitales incrementa la seguridad de los operarios por el hecho de emplear potenciales menores y tiempos de exposición muy cortos (menores dosis absorbidas).
- La radiografía digital es un método más amigable con el medio ambiente puesto que no utiliza químicos de revelado ni pantallas intensificadoras de plomo.
- Las imágenes obtenidas digitalmente tienen una muy alta definición lo cual permite detectar discontinuidades de menor tamaño al mismo tiempo que facilita la interpretación del inspector, guardar los trabajos realizados y el resultado es inmediato.
- Los equipos empleados en radiografía digital al ser más pequeños, permiten una mayor portabilidad y alimentación eléctrica por medio de baterías, lo cual facilita las labores de transporte a campo, posicionamiento y evita depender de instalaciones eléctricas.
- Los casetes o detectores empleados pueden ser reutilizados por lo que se pueden realizar varias tomas con el fin de obtener la imagen más representativa sin necesidad de aumentar los costos por compra de radiografías.

Referencias

- [1] R. Murray, K. Holbert, "Radiation and its uses" en *Nuclear Energy - An Introduction to the Concepts, Systems and Applications of Nuclear Processes*, J. Hayton. Elsevier: Massachusetts, 2015, pp. 109-110.
- [2] A. M. K. Thomas y A. K. Banerjee, "Wilhelm Roentgen and the Discovery" en *The History of the Radiology*, Oxford University Press: Oxford, 2013, pp. 3-6.
- [3] L. Cartz, "Radiography" en *ASM Handbook*, ASM International: USA, 1995, pp. 16-19.
- [4] American Welding Society (AWS), "Non Destructive Examination Methods" en *Welding Inspection Manual*, AWS: USA, 2015, pp. 153-156.
- [5] R. Pincu, O. Kleiberger, "Advanced Digital Radiography for Field NDT", en *International Symposium on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography*, Berlin, 2011, pp. 1-7.
- [6] R. J. Patel, "Digital Applications of Radiography" en *3rd Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition*, Manama, 2005, pp. 1-4.
- [7] Non-destructive testing - Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates - Part 1 and Part 2, EN 14784-1 & 2: 2005.
- [8] F. A. Morro, "Computed Radiography: The Future of Radiographic Inspection" en *15th World Conference on Non-Destructive Testing*, Roma, 2000.
- [9] G. Barber, "Digital Imaging Techniques/Solutions" en *10th Asian Pacific Conference on Non-Destructive Testing*, Brisbane, 2001.

Modelo de toma de decisiones de mantenimiento basado en la predicción de vida útil para componentes de sistemas eólicos en Costa Rica

Maintenance decision making model based on useful life prediction for wind power generation systems components installed in Costa Rica

Ana Laura Loría-García¹, Edgardo Mateo Villalobos-Granados²,
Carlos Piedra-Santamaría³,

Fecha de recepción: 24 de octubre de 2016
Fecha de aprobación: 19 de enero de 2017

Loría-García, A; Villalobos-Granados, E; Piedra-Santamaría, C . Modelo de toma de decisiones de mantenimiento basado en la predicción de vida útil para componentes de sistemas eólicos en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 129-141.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3279



- 1 Costarricense. Ingeniera en Mantenimiento Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: analoga2992@gmail.com.
- 2 Costarricense. Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: edgatolobo@gmail.com.
- 3 Costarricense. Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: cpiedra@itcr.ac.cr.

Palabras clave

Confiabilidad; Turbinas Eólicas; Redes Neuronales Artificiales; Optimización de Costos.

Resumen

Este estudio presenta un modelo de toma de decisiones de mantenimiento, donde se aplica el monitoreo de condición a componentes rotativos de aerogeneradores de eje horizontal instalados en Costa Rica, reduciendo la incidencia de fallas inesperadas, lo cual es consecuencia de la política de dejar fallar o apegarse a las recomendaciones del fabricante sin tomar en cuenta el entorno operativo, prácticas comunes en la industria eólica del país.

Se ofrece un modelo donde se definen dos valores umbrales de probabilidad de falla, los cuales se utilizan en la toma de decisiones de reemplazo de componentes, con el fin de optimizar los costos de operación y mantenimiento. Además, se brindan las pautas iniciales para ejecutar esta estrategia de mantenimiento en un proyecto eólico.

Las predicciones de los porcentajes de vida requeridas por el modelo ofrecido, se obtienen utilizando redes neuronales artificiales, las cuales tienen como entradas variables de condición representativas para cada componente en estudio (rotor, rodamiento principal, caja multiplicadora y generador eléctrico).

Keywords

Reliability; Wind Turbines; Artificial Neural Networks; Cost Optimization.

Abstract

This study covers a maintenance decision making model, where condition monitoring is applied to rotating components of horizontal axis wind power generation systems installed in Costa Rica, in order to reduce the incidence of unexpected failures, which are consequences of the run-to-failure policy or following strictly the manufacturers' suggestions without considering the operational environment, very common practices in the national wind industry.

Aiming the optimization of operation and maintenance costs, a model where two failure probability threshold values are defined is presented. These threshold values allow the component replacement decision making. Moreover, the initial guidelines for executing this strategy in a wind farm are offered in this paper.

The life percentage predictions required by the offered model, are obtained using artificial neural networks for each component (rotor, main bearing, gearbox and electric generator), which use representative condition monitoring variables as inputs.

Introducción

La mayoría de los sistemas electromecánicos modernos son grandes, complejos, con características especiales y estructuras particulares [1]. Cuando un sistema complejo falla, las consecuencias pueden ser dramáticas; por ejemplo, pueden ocurrir pérdidas económicas sensibles, afectación de la salud y bienestar de seres humanos y daños serios al ambiente [2], [3].

Para mitigar estos efectos, el mantenimiento industrial ha pasado de ser un asunto meramente técnico a uno de administración estratégica. Este nuevo rol implica brindar soluciones a problemas cada vez más complejos, como la predicción oportuna de fallas y la gestión eficiente de activos.

Los costos de operación y mantenimiento (O&M) en la industria eólica son altamente representativos, según se muestra en el cuadro 1, por lo tanto, reducirlos es un factor clave para la comercialización de la energía eólica [4], [5]. Una herramienta útil para lograr este objetivo es la aplicación de modelos estadísticos y probabilísticos para evaluar la confiabilidad de un sistema con base en la de sus componentes, su diseño y la disposición de los mismos en el sistema [6], [1]. Estos modelos tienen un alto nivel de aplicación en las industrias más exigentes a nivel mundial, como la de energías renovables.

Costa Rica se ha propuesto ser carbono neutral para el año 2100 [7], lo cual implica, entre otros aspectos, producir el 100% de su electricidad con energías renovables, situación que ha llevado al crecimiento acelerado de la energía eólica, duplicándose la capacidad instalada entre 2010 y 2015 [8].

A pesar del crecimiento de la industria eólica, aún existe un rezago en estrategias de mantenimiento propias de esta área, situación inaceptable debido a que la energía a partir del viento es de naturaleza intermitente y difusa [9]. Además de la limitada accesibilidad para realizar acciones de mantenimiento y alta criticidad de la mayoría de los componentes de los aerogeneradores, las turbinas eólicas se encuentran sujetas a cargas mecánicas irregulares [10], por lo tanto, es imprescindible garantizar disponibilidad y una alta confiabilidad durante los períodos de viento con velocidades dentro del rango de producción.

Es fundamental contar con un modelo de gestión de mantenimiento que considere el deterioro de los aerogeneradores y por lo tanto sea basado en la condición, con el fin de lograr una significativa reducción en los costos de O&M. Lo anterior permite que recursos como tiempo y presupuesto sean asignados de manera óptima.

Tomando en cuenta los factores mencionados, se busca generar una estrategia alternativa a las políticas estrictamente correctivas y de reemplazo en intervalos constantes, utilizando el monitoreo de condición para evaluar el deterioro progresivo y ejecutar reemplazos únicamente cuando es necesario, y antes de que ocurran fallas catastróficas, lo cual asegura el aprovechamiento de la vida útil de los distintos componentes.

Cuadro 1. Costos de explotación generales para proyectos eólicos.

Rubro	Operación y mantenimiento	Terrenos	Seguros e impuestos	Gestión y administración
Costo (%)	57	16	14	13

Fuente: Global Wind Energy Council, 2016.

Estado de la generación eólica en Costa Rica

En Costa Rica, no se cuenta con datos históricos de fallas y tiempos de paro de los aerogeneradores [11], [12], por lo tanto, se debe comenzar con una recolección piloto por un año, aunque se recomienda la toma de datos por un período de al menos 20% de la vida útil

total de diseño del sistema [13]. Este lapso sería de cuatro años, ya que en general, la vida útil de diseño de los aerogeneradores es de 20 años, según lo indica la norma IEC 61400-1 [14].

Al no existir estos datos en el entorno operacional de Costa Rica, se toman como referencia algunas bases de datos existentes [13], [15], [16], [17], donde se observa que los componentes rotativos que presentan mayores tiempos de paro son la caja multiplicadora, el generador eléctrico, el rodamiento principal y el rotor.

En el cuadro 2, se observa la distribución de la capacidad instalada al 2016, la cual representa un 9,07% del Sistema Eléctrico Nacional.

Cuadro 2. Plantas de generación eólica en Costa Rica y modelos de los distintos aerogeneradores.

Empresa	Planta	Unidades	kW de placa	Fabricante	Modelo	Caja multiplicadora
ICE	Tejona	30	18 480	Vestas	V42/660	Sí
	P.E Guanacaste	55	49 700	Enercon	E44/900	No
BOT	Chiripa	33	49 500	Acciona	AW77/1500	Sí
	Orosí	25	50 000	Gamesa	G87/2000	Sí
	Plantas Eólicas S.R.L	55	22 660	Kenetech	33M-VS	Sí
	Aeroenergía	9	6 750	Neg Micon	NM48/750	Sí
Privado	Tilawind	7	21 000	Vestas	V90/3000	Sí
	Movasa	32	20 000	Neg Micon	NM48/750	Sí
	Vientos del Este	4	12 000	Wobben	E82/3000	No
C.N.F.L	Valle Central	17	15 300	Enercon	E44/900	No
Coopesantos	Los Santos	15	12 750	Gamesa	G52/850	Sí
Total Eólico		282	278 140			

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad, 2016 [18]

Los casos de un proyecto eólico en el cual se generaron pérdidas de \$2,1 millones por bajos niveles de producción [19] y otro parque que detuvo operaciones en 2013 por falta de rentabilidad [20], son situaciones que evidencian la necesidad de contar con una estrategia de gestión que permita reducir los costos de O&M de los parques eólicos del país, y que además se adapte a las características técnicas y entorno operacional de cada proyecto eólico.

Configuración del sistema y reglas de operación

Por definición, un componente es la mínima unidad que constituye un sistema, el cual se estudia de forma aislada [21]. En un sistema, los componentes interactúan entre sí para llevar a cabo funciones operacionales específicas [22], por lo tanto, la condición del sistema en general, depende de la condición de sus componentes [1]. Es importante entonces conocer la configuración del sistema para comprender el comportamiento del mismo ante las fallas.

Configuración del sistema

La configuración del sistema describe la manera en la cual el sistema se encuentra conectado, así como sus reglas de operación [22]. Para evaluar la confiabilidad de sistemas, estos suelen descomponerse jerárquicamente de acuerdo con el desempeño de los componentes.

En un sistema conformado por n componentes conectados en serie, la confiabilidad ($R_{Sistema\ Serie}$) se calcula como el producto de las confiabilidades individuales R_i [6], tal y como se muestra en la ecuación 1.

$$R_{Sistema\ Serie} = \prod_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

Por otro lado, para una configuración con n componentes en paralelo, la confiabilidad ($R_{Sistema\ Paralelo}$) se calcula según la ecuación 2, presentada en [1].

$$R_{Sistema\ Paralelo} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2)$$

Para esquematizar la configuración de los sistemas, se utilizan los diagramas de bloque de confiabilidad (figura 1), donde se indica la relación lógica entre el funcionamiento del sistema y sus componentes [1].

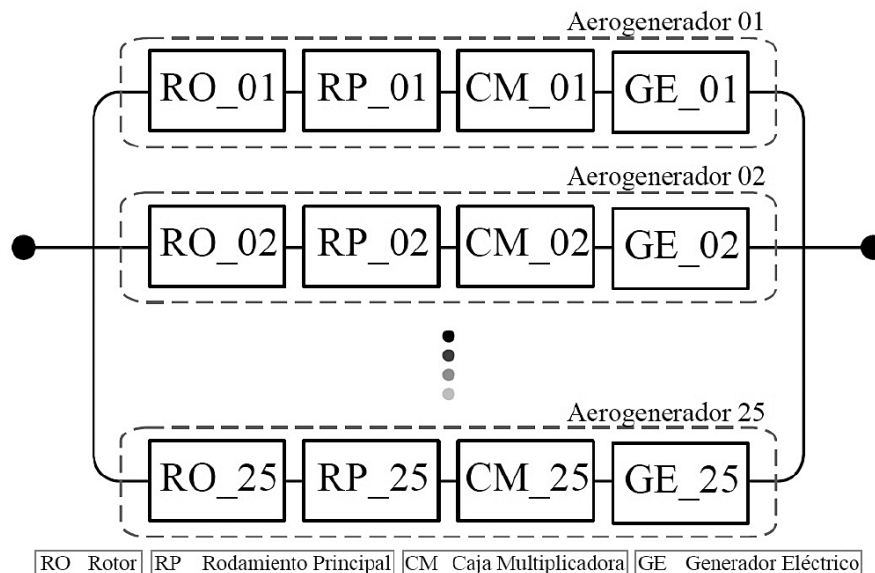


Figura 1. Diagrama de bloques de confiabilidad para un parque eólico de 25 turbinas.

Edad de los componentes

El concepto de edad calendario de un sistema se refiere al tiempo transcurrido desde que el mismo inició operaciones [22], sin embargo, existe el concepto de edad efectiva, donde se incluye la condición del sistema para conocer el porcentaje de vida útil acumulada en un tiempo específico. Esta edad refleja el efecto del envejecimiento de un componente o sistema a través del tiempo y el rejuvenecimiento luego de distintas intervenciones de mantenimiento [23].

Descripción del modelo

Con el fin de predecir los porcentajes de vida de los distintos componentes, se recurre a las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales son modelos matemáticos inspirados en el funcionamiento de las estructuras neurobiológicas humanas [24].

Las neuronas trabajan en forma conjunta para comunicar señales a través de sinapsis entre cuerpos celulares, mismas que se propagan por canales conocidos como axones [25]. Con base en lo anterior, fueron creadas las RNA, correspondientes a “una estructura compuesta de un número de unidades interconectadas, donde cada unidad posee una característica de entrada y salida e implementa una función o computación local” [26]. Los elementos de una RNA se observan en la figura 2.

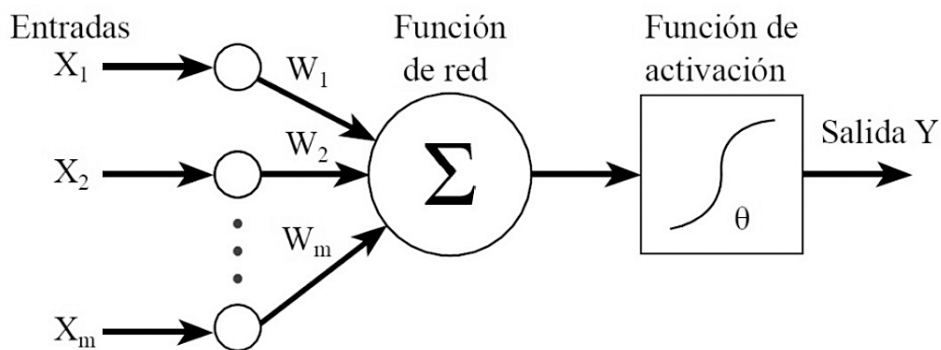


Figura 2. Elementos de una red neuronal artificial.

Se conoce como función de red o propagación, a la suma ponderada ejecutada por cada nodo sobre sus valores de entrada [27]. Posteriormente, existe una función de activación (θ), responsable de aproximar las no linealidades del fenómeno [28].

La salida tiene un valor único y puede ser a la vez entrada de una unidad posterior, dependiendo de la configuración de la red.

Con el fin de obtener la salida esperada para las entradas específicas de toda RNA, los pesos de ponderación (W) deben ajustarse. Este procedimiento de ajuste de pesos se conoce con el nombre de aprendizaje o entrenamiento de la red, y normalmente se realiza con sistemas de computación, utilizando un conjunto de datos conocidos, para minimizar el error entre la salida que se obtiene a través de la red y la salida esperada [29]. Finalmente se lleva a cabo la fase de validación, donde se introducen datos distintos a los de la fase de aprendizaje, para así verificar la capacidad de generalización de la red [30].

En este estudio, se utiliza el perceptrón multicapa, un tipo de RNA donde aparecen capas ocultas entre las de entrada y salida. Esta arquitectura es la más utilizada de todas [31] y ha demostrado brindar resultados satisfactorios en cuanto a predicción de porcentajes de vida de componentes [32].

Predicción de porcentajes de vida

En cada tiempo de inspección (t), se recolectan las mediciones del monitoreo de condición de la máquina y utilizando RNA, es posible estimar el valor del tiempo de falla [33]. En la figura 3, se observa la estructura base de los perceptrones multicapa propuestos para la predicción.

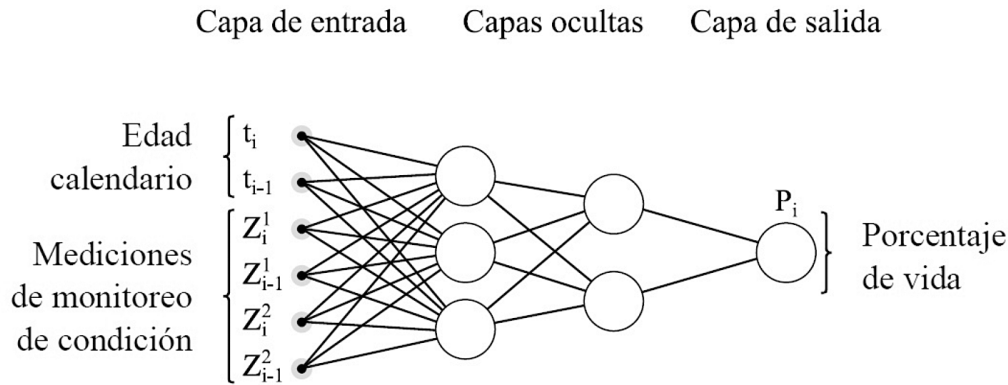


Figura 3. Estructura base de un perceptrón multicapa para predicción de porcentaje de vida.

Las entradas del perceptrón multicapa se insertan en sus valores actual (i) y anterior ($i-1$), con el fin de reflejar el cambio en la condición. Existen para este caso dos mediciones de monitoreo de condición, expresadas con la letra Z .

La salida del perceptrón multicapa es el porcentaje de vida (P_i) en el tiempo de inspección actual, correspondiente a la edad efectiva. Como ejemplo, si el P_i del tiempo de inspección correspondiente a una edad calendario de 210 días es 42%, el tiempo de falla del componente se calcula según la ecuación 3.

$$\text{Tiempo de falla del componente} = \frac{t_i}{P_i} = \frac{210}{0,42} = 500 \text{ días} \quad (3)$$

Del resultado presentado en la ecuación 3, se puede interpretar que el tiempo de vida útil remanente será de 290 días.

Durante el entrenamiento y validación de la RNA, se obtienen la media (μ_p) y la desviación estándar (σ_p) de los errores de predicción de porcentaje de vida [34]. Estos valores se utilizan para construir la distribución del tiempo de falla previsto en un determinado punto de inspección. Dados los valores t_i y P_p , el tiempo previsto de falla T_p en el punto actual de inspección sigue la distribución normal, como se muestra en la ecuación 4, donde μ es la media de la distribución de tiempo previsto de falla y la desviación estándar de la distribución de tiempo previsto de falla se denota como σ .

$$T_p \sim N(\mu, \sigma) = N(t_i / (P_i - \mu_p), \sigma_p \cdot t_i / (P_i - \mu_p)) \quad (4)$$

Estimación de la probabilidad de falla de los componentes y el sistema

La probabilidad de falla ($Pr_{n,m}$) de un componente m de la turbina n en un parque eólico, se define como lo muestra la ecuación 5, presentada en [35].

$$Pr_{n,m} = \frac{\int_t^{t+L} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx}{\int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx} \quad (5)$$

Donde la edad del componente en el punto actual de inspección es t , mientras que el tiempo de logística se denota con la letra L , correspondiente al intervalo entre la decisión de mantenimiento

y la ejecución del mantenimiento sobre el componente, donde se incluyen eventos propios del desarrollo de las acciones de reemplazo [34]. Se asume que L es igual para todas las acciones de mantenimiento en todos los componentes, con el propósito de simplificar el cálculo.

La probabilidad de falla para la turbina eólica n (Pr_n), puede expresarse como se muestra en la ecuación 6, al ser este un sistema en paralelo.

$$Pr_n = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - Pr_{n,m}) \quad (6)$$

Adicionalmente, la confiabilidad del sistema se calcula según lo indicado en la ecuación 7, tal y como se presentó en secciones anteriores.

$$R_n = 1 - Pr_n \quad (7)$$

Estrategia planteada para la toma de decisiones de mantenimiento

Según esta estrategia, se deben determinar dos valores umbrales de probabilidad de falla para definir la política de mantenimiento basado en condición [34]. Estos umbrales se denotan como d_1 y d_2 , con $d_2 < d_1$ y son valores reales comprendidos en el intervalo $]0,1[$, calculados según el método de simulación de costo descrito en la siguiente sección. En la figura 4, se observa de forma gráfica la escala de probabilidad de falla y las acciones por tomar según sea el caso.

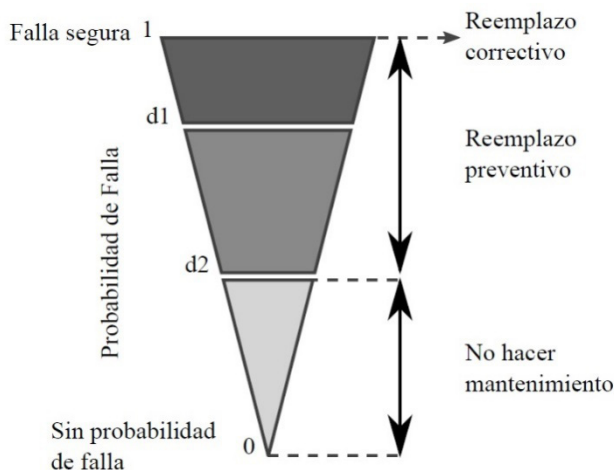


Figura 4. Gráfica para toma de decisiones de mantenimiento según la probabilidad de falla.

Una vez que ambos valores umbrales se especifican, la política de mantenimiento basado en condición queda completamente definida, y la estrategia para sistemas de generación eólica se aplica según lo propuesto por [34], tal y como se describe en los siguientes puntos:

- Realizar un reemplazo correctivo si un componente falla.
- Efectuar acciones preventivas en los componentes de una turbina n si $Pr_n > d_1$.
- Si se le debe realizar una intervención preventiva a la turbina n , se ejecutan las acciones preventivas a los componentes, tal que la probabilidad de falla de la turbina alcance un valor menor que d_2 .

Modelo de optimización del mantenimiento basado en la condición

La optimización de la política de mantenimiento basado en la condición consiste en minimizar el costo total esperado de mantenimiento por unidad de tiempo (C_E), encontrando para ello los valores umbrales óptimos d_1 y d_2 . Según [35], la manera de formular este problema de optimización se muestra en la ecuación 8.

$$\min C_E(d_1, d_2)$$

$$\text{Restricción: } 0 < d_2 < d_1 < 1 \quad (8)$$

Dada la complejidad del problema de optimización planteado, se recurre a un método de simulación para evaluar el costo, según la estrategia presentada en [34]. El flujograma de la figura 5 contiene el procedimiento para ejecutar la simulación citada.

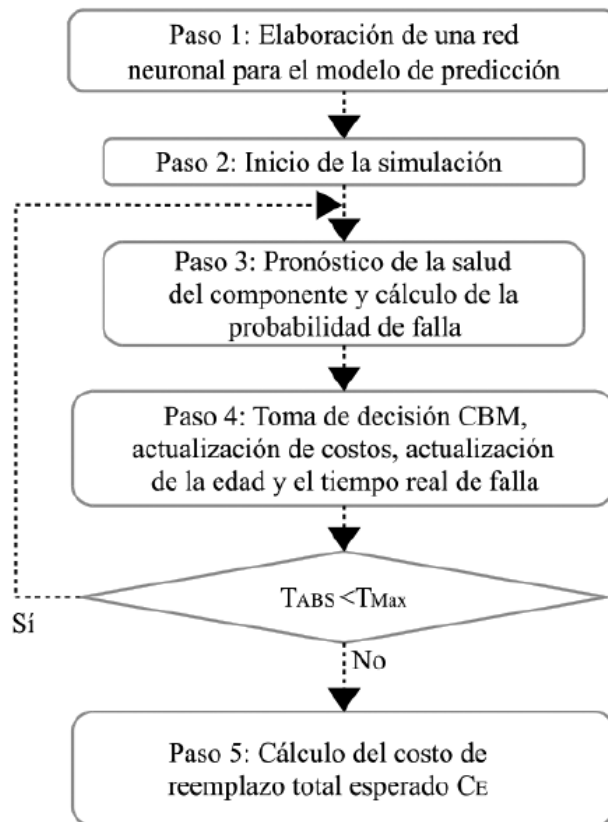


Figura 5. Flujograma para la optimización del costo total esperado de mantenimiento.

Del proceso de entrenamiento de la RNA, se obtienen la media ($\mu_{p,m}$) y la desviación estándar ($\sigma_{p,m}$) del error de predicción del porcentaje de vida. Posteriormente, se generan tiempos reales de falla para cada componente de cada turbina ($TL_{n,m}$), por medio de un muestreo de la distribución Weibull del componente en estudio.

El tiempo de falla previsto $TP_{n,m}$ de los componentes, se genera a partir del muestreo de la distribución normal $N(TL_{n,m}, \sigma_p \cdot TL_{n,m})$, donde se utiliza σ_p para incluir el efecto del error en la predicción. Con el TP calculado, la probabilidad actual de falla para un componente se calcula según la ecuación 9.

$$Pr_{n,m} = \frac{\int_{t_i}^{t_i+L} \frac{1}{\sigma_p TP_{n,m} \sqrt{2\pi}} e^{-0,5 \left(\frac{x-TP_{n,m}}{\sigma_p TP_{n,m}} \right)^2} dx}{\int_{t_i}^{\infty} \frac{1}{\sigma_p TP_{n,m} \sqrt{2\pi}} e^{-0,5 \left(\frac{x-TP_{n,m}}{\sigma_p TP_{n,m}} \right)^2} dx} \quad (9)$$

Se actualizan el costo, la edad del componente y los valores reales de tiempo de falla, incluyendo los siguientes aspectos:

- Para todo componente cuya edad iguale o supere $TL_{n,m}$, se incurre en un costo asociado a un reemplazo correctivo.
- Existirá un costo por reemplazo preventivo de los componentes con mayor riesgo de falla si $Pr_n > d_1$, hasta lograr que $Pr_n < d_2$.
- Siempre habrá un costo asociado al envío de personal de mantenimiento al parque eólico, el cual debe ser considerado al efectuar un reemplazo de cualquier tipo.
- Al reemplazar algún componente, el tiempo se moverá hacia el final del tiempo de logística, y se debe generar un nuevo $TL_{n,m}$. Por otro lado, si no hay reemplazos por hacer, la movilización de tiempo es hacia el próximo tiempo de inspección.

Cuando se finaliza la simulación, se calcula el costo total esperado por unidad de tiempo.

Configuración requerida

A modo de ejemplo, en la figura 1 se muestra un parque eólico de 25 turbinas eólicas, cada una con los cuatro componentes seleccionados para el estudio.

El hecho de que los componentes se encuentren configurados en serie, significa que la falla en alguno de ellos conducirá a la falla de la turbina. Por otro lado, el parque eólico tiene sus turbinas conectadas en paralelo, lo cual implica que el sistema estará en falla únicamente si todos los aerogeneradores dejan de funcionar.

Datos iniciales

Los datos iniciales necesarios para la implementación del modelo son:

- Historiales de falla y suspensión: Estos historiales se utilizan para el entrenamiento de las redes neuronales, por lo tanto, la exactitud de cada red será directamente proporcional a la información se tenga.
- Parámetros de la distribución Weibull del tiempo de vida: Se ha demostrado que la distribución Weibull se ajusta a las conductas de falla de numerosas partes mecánicas y eléctricas [36]. Esta información se encuentra en publicaciones de la industria eólica o por medio de los fabricantes de cada componente.
- Costos fijos y variables de mantenimiento: Se deben incluir los costos variables por reemplazo correctivo y preventivo para cada componente y los costos fijos y de envío de personal al proyecto eólico.

Construcción de las redes neuronales artificiales

El análisis de vibraciones es una de las técnicas predominantes para el monitoreo de condición [37], por lo cual, se considera como variable de entrada para las RNA del rotor, rodamiento principal y caja multiplicadora.

La norma ISO 10816-21, establece que deben existir mediciones de vibración en las direcciones axial, vertical y horizontal [38]. La medida recomendada por la norma es la de aceleración (en m/s^2), debido a la buena respuesta ante frecuencias altas.

La topología de la RNA para el rotor es idéntica a la del rodamiento principal, con ocho nodos de entrada correspondientes a la edad calendario y mediciones de vibración en los tres ejes que indica la norma, la primera capa oculta con cuatro nodos, la segunda con dos nodos y una unidad neuronal de salida.

Como se mostró, la caja multiplicadora es un componente de especial interés para el modelo. Por la anterior razón, además del análisis de vibraciones, se incluye el monitoreo de aceite en línea, con el fin de obtener un mejor reflejo de su condición [39]. La RNA propuesta para la caja multiplicadora incluye diez nodos de entrada correspondientes a la edad calendario, medición de vibraciones en los tres puntos indicados por la norma y la condición del aceite, cinco nodos en la primera capa oculta, tres nodos en la segunda y la respectiva capa de salida.

Al generador eléctrico se le monitorean parámetros de voltaje y temperatura, puesto que los mismos evidencian la condición de este componente [40]. La RNA propuesta en este caso incluye seis nodos de entrada, pertenecientes a la edad calendario, voltaje y temperatura, la primera capa oculta con tres nodos, la segunda con dos nodos y la capa de salida.

Conclusiones y trabajo a futuro

Una manera de aumentar la competitividad de la energía eólica, consiste en generar estrategias cuyo enfoque sea la optimización de los costos de operación y mantenimiento, los cuales son los más significativos dentro del proceso de explotación de la energía a partir del viento.

Se demuestra que la recolección de datos históricos de falla aporta información valiosa sobre el comportamiento de los sistemas en su entorno operacional y que debe ser tomada en cuenta para todo plan de mantenimiento, indistintamente de la estrategia a seguir; punto en el cual la industria eólica costarricense presenta un rezago.

Para cada componente, las variables de condición seleccionadas se consideran como representativas de la condición, sin embargo, las mismas son susceptibles a modificarse o eliminarse, mediante el análisis de pruebas experimentales que ayuden a determinar la relevancia de cada variable.

En el presente estudio no se consideran las irregularidades en la carga mecánica generadas por las variaciones en la velocidad del viento, por lo que este debe ser un punto en consideración si se desea aplicar el modelo de mantenimiento propuesto.

Debido a que este estudio se encuentra en su fase inicial, no es posible cuantificar un ahorro esperado, sin embargo, considerando que la mayoría de los aerogeneradores modernos cuentan con sistemas de adquisición de datos, la inversión inicial en cuanto a hardware para aplicar el modelo podría ser relativamente baja.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Ming J. Zuo, a todo el personal del Laboratorio de Investigación en Confiabilidad (Reliability Research Lab) de la Universidad de Alberta en Canadá y al Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Referencias

- [1] W. Kuo and M. Zuo, *Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications*. John Wiley & Sons Inc., 2003.
- [2] C. Cassady et al., "Selective maintenance modeling for industrial systems", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 104-117, 2001.
- [3] US Environmental Protection Agency. (2010). *Deepwater Horizon – BP Gulf of Mexico Oil Spill*. [Online]. Available <https://www.epa.gov/enforcement/deepwater-horizon-bp-gulf-mexico-oil-spill>
- [4] E. Byon and Y. Ding, "Season-Dependent Condition-Based Maintenance for a Wind Turbine Using a Partially Observed Markov Decision Process", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 4, pp. 1823-1834, Nov. 2010.
- [5] R.F. Brandao et al., "Neural Networks for Condition Monitoring of Wind Turbines Gearbox", *Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 6, pp. 638-644, Apr. 2012.
- [6] J. Acuña, *Ingeniería en Confiabilidad*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2003.
- [7] M. Soto. (2015, Set. 24). *Costa Rica aplaza meta de carbono neutralidad para el año 2100*. La Nación. [Online]. Available: http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Pais-aplaza-meta-carbono-neutralidad_0_1514048598.html
- [8] The Wind Power. *Production capacities, Costa Rica*. [Online]. Available http://www.thewindpower.net/country_en_29_costa-rica.php
- [9] R. Billinton, R. et al., *Reliability and Risk Evaluation of Wind Integrated Power Systems*. India: Springer, 2013. doi 10.1007/978-81-322-0987-4.
- [10] A. Leite et al., "Probabilistic wind farms generation model for reliability studies applied to Brazilian sites", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 21, no. 4, pp. 1493-1501, Nov. 2016.
- [11] J. Luna, private communication, Mar. 2016.
- [12] O. Carvajal, private communication, Apr. 2016.
- [13] A. Stenberg and H. Holttinen, "Tuulivoiman tuotantotilastot: Vuosiraportti", Finlandia, 2010.
- [14] *International Electrotechnical Commission, Wind Turbines, Design Requirements*. IEC 61400-1, 2008.
- [15] Elforskrapporter. *Driftuppföljning av Vindkraftverk Årsrapport*. [Online]. Available www.elsforsk.se
- [16] J. Ribrant, "Reliability performance and maintenance – A survey of failures in wind power systems," M.S. thesis, KTH School of Electrical Engineering, 2006
- [17] S. Sheng and P. Veers, "Wind Turbine Drivetrain Condition Monitoring – An Overview", NREL. NREL/CP-5000-50698. May 2011.
- [18] Centro Nacional de Control de Energía, private communication, Feb. 2016.
- [19] Contraloría General de la República. (2015). *Serías debilidades en desarrollo y operación del parque eólico Valle Central de la CNFL*. [Online]. Available <https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/jaguar/Documentos/comunicados/prensa/Boletines/2015/boletin-24-07-2015-eolica.pdf>
- [20] I. Fornaguera. (2015, Feb. 5). *CNFL gasto \$1,6 millones en proyecto eólico entrabado*. La Nación. [Online]. Available http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/CNFL-millones-proyecto-eolico-entrabado_0_1467853218.html
- [21] C. Zapata, *Confiabilidad en Ingeniería*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
- [22] M.K. Pandey, "Selective maintenance for systems under imperfect maintenance policy," Ph.D. dissertation, Mech. Eng. Dept., University of Alberta, Edmonton, 2014.
- [23] P.E Labeau and M.C. Segovia, "Effective age models for imperfect maintenance", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, vol. 225, no. 2, pp. 117-130, 2011.
- [24] E. Bustamante, *El sistema nervioso: desde las neuronas hasta el cerebro humano*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia, 2007.
- [25] D. Orozco, "Aproximación del uso de redes neuronales en mantenimiento," M.S. thesis. Mech. Eng. Dept., Universidad Eafit, Medellín, Colombia, 2013.
- [26] R. Schalkoff, *Artificial Neural Networks*. McGraw-Hill Education, 1997.
- [27] P. Greenwood and L. Wald. *Stochastic Neuron Models*. Springer International, 2010.

- [28] B. Yegnanarayana, *Artificial Neural Networks*. India: Prentice Hall, 2006.
- [29] S. Marsland, *Machine Learning: An algorithmic perspective*. CRC Press, 2015.
- [30] N. Srivastava, "Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting", *Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, pp. 1929-1958, 2014.
- [31] M. Popescu et al., "Multilayer Perceptron and Neural Networks", *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, vol. 8, no. 7, pp. 579-588, 2009.
- [32] Adnan, M., "Bearing Prognostics using Neural Network under time varying conditions," M.Sc. dissertation, Faculty of Engineering and Computer Science, Concordia University, Montréal, 2010.
- [33] M. Orchard. (2010, Sep.) *Pronóstico de fallas y estimación en línea de la vida útil remanente de equipos y componentes*. [Online]. Available <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1465&tip=7>
- [34] Z. Tian et al., "Condition based maintenance optimization for wind power generation systems under continuous monitoring", *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 1502-1509, 2011.
- [35] B. Wu et al., "Condition based maintenance optimization using neural network based health condition prediction", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, vol. 29, no. 8, pp. 1151-1163, Dec. 2013.
- [36] A. Schömig and O. Rose, "On the Suitability of the Weibull Distribution for the Approximation of Machine Failures", Proceedings of the 2003 Industrial Engineering Research Conference, Portland, OR, May 18-20, 2003.
- [37] G. White, *Introducción al Análisis de Vibraciones*. MA: Azima DLI, 2010.
- [38] *Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 21: Horizontal axis Wind turbines with gearbox*. ISO 10816-21, 2015.
- [39] J. Terradillos and J. Ciria, "Análisis del aceite como herramienta de mejora del comportamiento de las multiplicadoras de aerogeneradores: Principales problemas detectados a través del lubricante", IK4-Tekniker, 2013.
- [40] M. Castelli and M. Andrade, "Metodología de monitoreo, detección y diagnóstico de fallos en motores asíncronos de inducción", *Memorias*, no. 6, pp. 9-17, 2008.

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

1. Los artículos deberán ser originales, inéditos y no pueden participar simultáneamente en otros procesos de publicación.
2. La extensión de los trabajos debe oscilar entre 10 y 20 páginas de 21,59 x 27.94 cm (8,5 x 11 pulgadas). Se debe presentar en un documento de Microsoft Word, con interlínea de espacio y medio, en una columna, en letra Times 12 pts.
3. Los títulos de los artículos deben ser sencillos, claros, cortos y estar en español e inglés.
4. Es necesario indicar claramente el nombre y los dos apellidos del autor, nacionalidad, profesión, teléfonos, correo electrónico, dirección exacta, lugar de trabajo y país de origen de dicha entidad.
5. Las palabras clave deben presentarse en español y en inglés. Además, el resumen debe estar compuesto por 250 palabras y aparecer en ambos idiomas.
6. Las imágenes se deben enviar en un archivo aparte del documento principal. En caso de ser escaneadas, la resolución mínima es de 300 ppi. Los formatos permitidos son: .jpg, .tiff, .eps, .psd y .ai.
7. Las fórmulas y ecuaciones matemáticas deben realizarse con el editor de ecuaciones de Word.
8. En lo pertinente, se usará el Sistema Internacional de Unidades.
9. La bibliografía debe aparecer al final del documento, ordenada según su aparición en el documento y utilizar el formato IEEE.
10. Los documentos deberán enviarse únicamente por medio de la página oficial de la revista www.revistas.tec.ac.cr/tec_marcha
11. La Comisión editorial no dará trámite de edición al artículo que no cumpla con estos requisitos.

Nota importante

Los originales serán sometidos a un proceso editorial que se desarrollará en varias fases. En primer lugar, serán objeto de una evaluación preliminar por parte de los miembros del Comité Editorial, quienes determinarán la pertinencia de su publicación. Una vez establecido que cumple con los requisitos temáticos y formales indicados en estas instrucciones, será enviado a dos pares académicos externos para decidir en forma anónima (doble ciego) si debe publicarse, si necesita cambios o si se rechaza. En caso de que ambos llegaran a discrepar, el artículo será enviado a un tercer evaluador, para tomar la decisión. Los resultados del dictamen académico serán inapelables en todos los casos. En caso de que el artículo sea aprobado para su publicación, el autor autoriza a la Editorial Tecnológica de Costa Rica para que lo incluya en la revista y pueda editarlo, reproducirlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero mediante medios impresos y electrónicos bajo la licencia *Creative Commons*.

Instructions to publish in **TECNOLOGÍA** *en marcha*

The journal *Tecnología en Marcha* is published by the Editorial Tecnológica de Costa Rica every three months. It focuses mainly in disseminating the results of research of engineering areas. The journal's contents are intended for researchers, experts, teachers and university students around the world.

1. All articles must be originals, unpublished, and cannot be simultaneously used in other processes.
2. Papers may be 10-20 pages long (8.5 x 11 in, or 21.59 x 27.94 cm). All documents must be submitted in MS Word, 1.5 line spacing, using Times 12 pts. font and in one column.
3. Article titles must be simple, clear, short, and be included in both Spanish and English.
4. The name and (two) last names of the author should be clearly indicated, along with their profession, telephone numbers, email, physical address, place of work (organization, department, school), and where the organization is based.
5. The key words must be included in both Spanish and English. Furthermore, the abstract must be 250 words long, and should also be submitted in both languages.
6. The images must be delivered in a separate document. If scanned, the minimum resolution is 300 ppi. The formats allowed are .jpg, .tiff, .eps, .psd, and .ai.
7. Mathematical equations and formulas must be done with MS Office's Equation Editor.
8. Where necessary, use the International System of Units.
9. Bibliography will be included at the end of the document, arranged order based on IEEE format.
10. Papers should be sent to the following the web site www.revistas.tec.ac.cr/tec_marcha
11. The Editorial Committee will only consider for publication the articles meeting the above requirements.

Important note

All originals will be subject to an editorial process consisting of several phases. First, a preliminary assessment will be done by members of the Editorial Committee, the Director, and the editors, who will jointly determine whether the article would make a relevant publication. After determining that an article meets the thematic and formal requirements established in these Instructions, it will be sent to two outside academic peers who will decide anonymously (double-blind) whether it should be published, if it needs any changes, or whether it should be turned down. In case of disagreement between these peers, the article will be sent to a third evaluator in order to reach a decision. In no case may the results of this decision be appealed. If the article is accepted for publication, the author authorizes the Editorial Tecnológica de Costa Rica to edit, reproduce, distribute, exhibit and communicate at the country and abroad through print media and electronic equipment under the *Creative Commons* license.

Cronograma 2017

	Vol. 30-1	Vol. 30-2	Vol. 30-3	Vol. 30-4	Vol. 31-1	Vol. 31-2	Vol. 31-3
Recepción de artículos	Mayo - julio 2016	Agosto - octubre 2016	Noviembre 2016 - enero 2017	Febrero - abril 2017	Mayo - julio 2017	Agosto - octubre 2017	Noviembre 2017 - enero 2018
Evaluación de expertos y aprobación	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017	Mayo - Junio 2017	Agosto - setiembre 2017	Noviembre - diciembre 2017	Febrero - marzo 2018
Revisión de estilo y corrección	Octubre 2016	Febrero 2017	Abril 2017	Julio 2017	Octubre 2017	Enero 2018	Abril 2018
Diagramación y correcciones finales	Enero 2017	Marzo 2017	Mayo - junio 2017	Agosto - setiembre 2017	Noviembre - diciembre 2017	Febrero - marzo 2018	Mayo - junio 2018
Publicación del número	Febrero 2017	Mayo 2017	Julio 2017	Octubre 2017	Febrero 2018	Abril 2018	Julio 2018