



TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenido

Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica

Quality control of water for human consumption in the region of the West in Costa Rica

Esteban Pérez-López 3

Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa, Costa Rica

Development of an environmental management novel program in watersheds to improve water quality in rivers in the Reserva Forestal Golfo Dulce in Península of Osa, Costa Rica

Guillermo Calvo-Brenes, Jesús Mora-Molina, Adrián Chavarría-Vidal, Antonio Orozco-Barrantes 15

Comparación interlaboratorial de multímetros 2014

2014 Digital multimeter interlaboratory comparison

Róger Meléndez-Poltronieri, Isabel Castro-Blanco, Harold Sánchez-Vargas..30

Nueva oferta educativa como respuesta al desarrollo del país: Ingeniería Agroindustrial

New educational offerings in response to national development: Agroindustrial Engineering

Tomás de Jesús Guzmán-Hernández, Marcela Fernández-Rodríguez, Johanna Villalobos-Murillo, Ignacio Monreal-Fernández, Mikel Rivero-Marcos, Angie Blanco-González 47

Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (<i>Capsicum annuum</i> L.) cultivados en invernadero en Costa Rica Morphological characterization of 12 sweet pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.) genotypes grown under greenhouse conditions in Costa Rica <i>Esteban Elizondo-Cabalcaeta, José Eladio Monge-Pérez</i>	60
Metodología de medición de la huella de carbono para edificaciones en Costa Rica y su aplicación en el módulo habitacional <i>Trópika</i> Methodology for the quantification of the carbon footprint of buildings in Costa Rica and its application on the residential module <i>Trópika</i> <i>Silvia Solano-Quesada, Edgar Ortiz-Malavassi</i>	73
Actualización de los criterios de calidad del agua de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica Updating the water quality criteria for well and spring water used for potabilization in Costa Rica <i>Darner A. Mora-Alvarado, Ana Mata-Solano, Marco A. Sequeira-Barquero</i>	85
Comportamiento de los aislamientos sólidos de transformadores de potencia en condiciones ambientales no controladas Behavior of the solid isolations of power transformers under environmental not controlled conditions <i>Gustavo Jiménez-Araya, Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez</i>	99
Las enfermedades de transmisión sexual y la salud sexual del costarricense. Tema I. SIDA/VIH Sexually transmitted diseases (STDs) and sexual health in Costa Rica. Topic I. HIV / AIDS <i>William Gutiérrez-Sandí, Christian Blanco-Chan</i>	117
Aplicación de un método para evaluar el impacto ambiental de proyectos de construcción de edificaciones universitarias Application of a method for the environmental impact assessment of university construction projects <i>Jose Carlos Mora-Barrantes, Oscar Mario Molina-León, Jose Pablo Sibaja-Brenes</i>	132
Hacia el desarrollo de un prototipo de sistema de voto electrónico para Costa Rica Towards the development of a electronic voting system prototype for the Costa Rican context <i>Jeff Schmidt-Peralta, Jaime Gutiérrez-Alfaro</i>	146
Atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca, Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Costa Rica Natural attractions in the area Gandoca National Wildlife Refuge Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica <i>Karla Rojas-Jiménez, Nicllen Rodríguez-Rojas, Lilliana Piedra-Castro</i>	159

Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica

Quality control of water for human consumption in the region of the West in Costa Rica

Esteban Pérez-López¹

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2015

Fecha de aprobación: 3 de marzo de 2016

Pérez-López, E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 3-14.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2884



1. Máster en Sistemas Modernos de Manufactura y Bachiller en Laboratorista Químico. Profesor Universidad de Costa Rica, Recinto Grecia. Correo electrónico: esteban.perezlopez@ucr.ac.cr

Palabras clave

Agua potable; agua de consumo humano; calidad del agua; parámetros de calidad; legislación sobre calidad del agua.

Resumen

En esta investigación se evaluaron diferentes parámetros de calidad del agua para consumo humano, tales como conductividad eléctrica, densidad, pH, dureza total, dureza cálcica, alcalinidad total, cloruros, magnesio y calcio por absorción atómica, en muestras de agua potable de la región de Occidente del país, incluyendo Grecia, Naranjo, San Ramón, Poás, Zarcero, San Carlos y Esparza. El objetivo fue comparar los resultados obtenidos para los parámetros de calidad evaluados entre las muestras analizadas. El estudio arrojó resultados muy favorables, ya que las muestras cumplen con la regulación vigente en el país en cuanto a parámetros de calidad del agua.

No obstante, cabe destacar que en los casos de la prueba de alcalinidad total de las muestras de las zonas de San Ramón y San Carlos, los resultados sobrepasan lo recomendado por los parámetros de calidad. Este no es un criterio contemplado en el reglamento vigente en el país, pero se espera que la irregularidad tenga una causa puntual y aleatoria, que no tenga repercusión en la salud humana de la población.

Keywords

Drinking water; water quality; quality parameters; water quality legislation.

Abstract

Different parameters of water quality for human consumption, such as electrical conductivity, density, pH, total hardness, calcium hardness, total alkalinity, chloride, magnesium and calcium by atomic absorption were evaluated in samples of drinking water in the region of Los Angeles Greece, as well as water samples from the San Ramon, Naranjo, Poas, Zarcero and San Carlos Esparza, in order to compare the results for the quality parameters evaluated between different samples. For the study very favorable results were obtained for the different samples analyzed waters, and that comply with the current regulations in the country, as assessed in terms of parameters of water quality are concerned, but it is noteworthy that in two very specific cases Test total alkalinity of the water samples from areas of San Ramon and San Carlos, the test results exceed the recommendation in the parameter, according to the literature, which is not a criterion regulated by the existing regulations in the country, but it is expected that the irregularity has been due to a specific and random causes, has no impact on human health of the villages.

Introducción

Se considera que el agua es el solvente universal y, según Teijón y Garrido (2006), esta propiedad está relacionada con su estructura molecular, que le permite disolver con facilidad compuestos iónicos y compuestos polares y solubilizar otros de carácter lipídico. Esta característica distintiva le confiere al agua una gran importancia, ya que puede tener diversas aplicaciones; sin olvidar que es un elemento esencial para el mantenimiento de la vida en el planeta.

El agua potable es aquella que se puede ingerir y que abastece a los seres humanos y satisface sus necesidades, ya que su composición química no presenta contaminantes objetables

(microorganismos, sustancias químicas o agentes infecciosos, entre otros). Estos contaminantes pueden tener efectos nocivos en las personas, convirtiendo al agua en un peligro, de ahí la necesidad de su potabilidad (Ramos, Sepúlveda & Villalobos, 2003). Por todas estas razones, el conocimiento de la calidad del agua es fundamental y, con más razón, de aquella destinada al consumo humano (Castellanos, Pérez & Rico, 1997).

Para comprobar si el agua que se consume es efectivamente potable, se toman muestras y se someten a análisis químicos con el fin de determinar su conductividad eléctrica, la densidad, el pH (grado de acidez o alcalinidad), la dureza total, la dureza cálcica, el calcio y el magnesio por absorción atómica, la alcalinidad total, parcial e hidróxida y los cloruros. Estos análisis permiten saber si el agua cumple con los parámetros establecidos que definen si es potable o no (Campos, 2000).

Fundamento

La importancia del agua, según Voet, Voet & Pratt (2008), radica en que es el medio en el que ocurre la mayoría de las reacciones bioquímicas, dado que los reactivos y productos de las reacciones metabólicas, los nutrientes y los productos de desecho dependen del agua para transportarse dentro de las células y entre ellas. Por otro lado, las aplicaciones del agua en la industria son numerosas, dada su economía y disponibilidad relativa. Se utiliza como fluido refrigerante, para la producción de vapor, como disolvente, vehículo de arrastre y como materia prima sujeta a transformación química (Vian, 2006).

La contaminación del agua tiene un gran impacto tanto en la salud como en el medio ambiente. Según Morell y Hernández (2000), la apreciable concentración de componentes indeseables (por ej., cloruros, nitratos y metales pesados) limita la viabilidad del líquido y aumenta su toxicidad, por lo que el estudio de la contaminación, la medición de sus efectos y el control de su evolución son aspectos de suma importancia.

Es imprescindible monitorear aspectos como la potabilidad, la presencia de coliformes fecales, el cloro libre, la alcalinidad, la cantidad de sólidos suspendidos, la conductividad y la dureza, ya que los contaminantes provienen de diferentes prácticas humanas que afectan su calidad y, por ende, todas las actividades y organismos que dependen de ella.

En Costa Rica, el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S) (Poder Ejecutivo, 2005) fue publicado en el diario oficial *La Gaceta* N° 84, del 3 de mayo de 2005. Su objetivo es establecer los niveles máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad o ser inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento en beneficio de la salud pública. Además, el artículo 15 indica que todo ente operador de sistemas de abastecimiento de agua está obligado a entregar copia de los informes de su programa de control de calidad al Ministerio de Salud.

En cuanto a las pruebas incluidas en este estudio, según Galvín (2003), la conductividad se ve afectada por el tipo de sales presentes, tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y factores que afectan la solubilidad. En el caso de las aguas tratadas, la conductividad debe situarse en el rango de 1000 y 500. Según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Poder Ejecutivo, 2005), la conductividad debe encontrarse en 400. También es importante mencionar que, en el agua, las sales minerales son buenas conductoras, mientras que las materias orgánicas y coloidales tienen una conductividad baja (Seoáñez, 2001).

Con respecto a la densidad, se trata de una propiedad que indica la cantidad de masa que contiene un determinado volumen y en el caso de las aguas potables es un parámetro importante,

ya que la cantidad de sólidos disueltos y no disueltos la hacen variar (Rodríguez, Vargas & Gómez, 2009). También debe considerarse que, según Heyward (2006), la densidad depende de la temperatura y la presión; con una temperatura de 20 °C la densidad es de 0.99820 g/mL, mientras que a 27 °C es de 0.99650 g/mL, por lo que la temperatura de trabajo también tiene incidencia en la densidad y debe considerarse. Es importante determinar la densidad en las aguas ya que, según Seoáñez (2001), es un indicador de la cantidad de materiales que llegan a un cuerpo receptor (contaminación mecánica).

El pH es un importante parámetro operativo de la calidad del agua. Las aguas demasiado ácidas disuelven los metales empleados en las conducciones (plomo, cobre, zinc), los cuales, al ser ingeridos, afectan negativamente la salud. El pH aceptable para agua potable varía entre 6.5 a 8.5 como valor guía (Jiménez, 2001). Según Galvín (2003), para las aguas de consumo humano, los valores extremos pueden causar irritación en las mucosas, irritación en órganos internos y hasta procesos de ulceración.

Cuando se hace referencia a la dureza del agua, se habla de la representación de la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en ella. Se clasifica en agua carbonatada (sensible al calor, precipita a altas temperaturas) y no carbonatada (no removible por calor, como sulfatos, nitratos y cloruros). La dureza más común es la del calcio y el magnesio, razón por la cual estos elementos solo se toman en consideración para determinar esta característica en el laboratorio (Jiménez, 2001). Cuando se encuentran en cantidades importantes, se dice que el agua es “dura” y significa que contiene sales incrustantes, dificulta la cocción de legumbres e impide la formación de espuma del jabón. Las aguas duras contienen de 150 a 300 mg/L como CaCO_3 , se considera que una dureza de 80 a 100 mg/L como CaCO_3 es aceptable en agua potable (Jiménez, 2001). En Costa Rica el parámetro recomendado para agua potable es de 400 mg/L como CaCO_3 , con un valor máximo admisible de 500 mg/L. Es importante preguntarse qué pasaría si se obtuvieran valores mayores al máximo permitido por esta regulación; por un lado, es bueno ya que el cuerpo humano necesita el calcio para los huesos y el magnesio para los procesos metabólicos, pero en exceso pueden producir desde simples asperezas en la piel y/o endurecimiento del cabello hasta cálculos renales, aumentar la incidencia de ataques cardíacos o estar relacionados con anomalías del sistema nervioso y varios tipos de cáncer (Rodríguez, 2010). Sin embargo, los beneficios y consecuencias para la salud son todavía un tema de discusión.

La llamada “agua dura” contiene un alto nivel de minerales y cantidades variables de compuestos, en particular sales de magnesio y calcio, que son las causantes de la dureza. Además, el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de estas sales (Rodríguez, 2009). Por su parte, “el agua blanda”, cuya dureza es inferior a 100 mg/L, puede tener una capacidad amortiguadora reducida y resultar, por lo tanto, más corrosiva para las tuberías, por lo que ciertos metales pesados como cobre, zinc, plomo y cadmio pueden estar presentes en el agua potable. El grado de corrosión y solubilización de los metales también depende del pH, la alcalinidad y la concentración de oxígeno disuelto (Neira, 2006).

Por su parte, la alcalinidad expresa la capacidad que tiene el agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Corresponde principalmente a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4^+ ; los más comunes son los de calcio y magnesio. La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido y el resultado se expresa como mg CaCO_3 /L. El principal efecto de la alcalinidad es su reacción con ciertos cationes en el agua, lo que conduce a la formación de precipitados (Jiménez, 2001). Sabiendo que la alcalinidad es la capacidad de neutralizar un ácido; sobre la alcalinidad hidróxida podemos decir que: si se precipita el carbonato por adición de exceso de cloruro de bario, el ion hidróxido se puede valorar satisfactoriamente en presencia del carbonato precipitado (Laitinen & Harris, 1982). Según Ramalho (2003) la alcalinidad del agua potable rara vez excede

los 300 ppm pero en caso de aguas residuales domésticas es de 250 ppm. Cabe recalcar que dicho parámetro no está reportado en ningún nivel de control del Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica.

En cuanto a la presencia de cloruros (Cl⁻), estos se pueden encontrar en el agua como sales de calcio o magnesio y eso reduce el sabor salado, pero de igual manera esta se debe acoplar al rango establecido, ya que un alto contenido de cloruros puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras (Arnedo, Azofra, Usón & Zapata, 2009).

De esta forma, sentamos las bases principales para realizar los análisis físico-químicos a distintas muestras de agua de la zona occidental del país, con el fin de emitir un criterio sobre la potabilidad de las aguas incluidas en esta investigación.

Metodología

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de química del Recinto de Grecia de la Universidad de Costa Rica (UCR), específicamente con los estudiantes del curso de Laboratorio de Procesos Industriales en el primer ciclo de 2015, correspondiente al tercer año de la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Laboratorista Químico. Las muestras se tomaron de aguas para el consumo humano de distintas zonas de la región de Occidente del país, incluyendo Grecia, Naranjo, San Ramón, Poás, Zarcero, San Carlos y Esparza.

Las pruebas comprendieron la determinación de la conductividad, la densidad, el pH, la dureza total, la dureza cálcica, el calcio, el magnesio, la alcalinidad total y la presencia de cloruros, en todos los casos por triplicado para cada muestra de agua. Todas las pruebas se efectuaron de acuerdo con el Manual de Laboratorio de Procesos Industriales de Rodríguez et al. (2009) y posteriormente se compararon los resultados con lo establecido en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

En el primer análisis se determinó la conductividad eléctrica con un conductímetro calibrado, tomando las lecturas con el equipo directamente a la muestra respectiva. Luego se determinó la densidad utilizando el densímetro directamente en la muestra colocada en una probeta; el pH se midió con el pH-metro recién calibrado con *buffer* de pH 4, 7 y 10, antes de la medición de las muestras. Las siguientes pruebas consistieron en determinar la dureza total y la dureza cálcica de las muestras. Para el primer caso se usó EDTA 0,01 M como titulante y ENT como indicador, además de la disolución amortiguadora amoniaco-cloruro de amonio pH 10; para el segundo caso, el titulante fue EDTA 0,02 M, murexida como indicador y NaOH para precipitar el magnesio. También se determinó el calcio y el magnesio por absorción atómica, utilizando una curva de calibración mixta para ambos elementos, llegando a concentraciones de 20 y 100 mg/L para magnesio y calcio, respectivamente, manteniendo concentraciones de 0,1% en cloruro de lantano para eliminar interferencias. Para la alcalinidad se utilizaron valoraciones ácido-base, empleando HCl 0,02 M como titulante y fenolftaleína, naranja de metilo y verde bromocresol como indicadores. Por último, para la prueba de cloruros se empleó el método argentométrico, utilizando nitrato de plata 0.01 M como titulante, en presencia del indicador cromato de potasio.

Resultados y discusión

En las pruebas se analizaron muestras de agua para el consumo humano de diferentes zonas del país (Grecia, Naranjo, San Ramón, Poás, Zarcero, San Carlos y Esparza). Según la procedencia del agua, los análisis evidenciaron distintos resultados. La finalidad del estudio fue establecer

si lo obtenido en los análisis era acorde con lo permitido según el decreto NO32327-S del Reglamento para la Calidad del Agua Potable en Costa Rica.

En el cuadro 1 se presentan los resultados de las pruebas efectuadas a las distintas muestras, destacándose que todas ellas cumplen con los criterios establecidos por la regulación vigente en el país sobre la calidad del agua potable.

Cuadro 1. Resultados obtenidos en las pruebas de calidad efectuadas a muestras de agua potable de la región de Occidente y los respectivos valores recomendados y máximos admisibles.

Parámetro	Muestra de agua potable							Valor recomendado	Valor máximo
	Grecia	Naranja	San Ramón	Póas	Zarcero	San Carlos	Esparza		
Conductividad ($\pm 0,03$) $\mu\text{S}/\text{cm}$	143,03	109,03	159	99,81	104,2	151	113,37	400	---
Densidad ($\pm 0,001$) g/mL	0,996	0,997	0,996	0,997	0,996	0,996	0,998	---	---
ph ($\pm 0,003$)	6,82	6,63	7,32	7,07	6,44	6,93	7,02	6,5	8,5
Dureza total (± 1) $\text{mg}/\text{L C}_a\text{CO}_3$	81	73	121	40	59	103	67	400	500
Dureza cálcica (± 2) $\text{mg}/\text{L C}_a\text{CO}_3$	65	54	0	26	50	92	50	---	---
Calcio ($\pm 0,6$) mg/L	16,2	6,1	32,1	11	14,1	0	20,6	100	---
Magnesio ($\pm 0,3$) mg/L	3,5	2,3	3,9	4	5,3	7,4	3,5	30	50
Alcalinidad total (± 5) mg/L	66	101	214	90	102	224	128	>30	<200
Cloruros ($\pm 0,9$) mg/L	23,3	20,8	20,9	23	22	22	21	>25	250

Inicialmente, en la primera prueba se determinó la conductividad eléctrica de todas las muestras de agua potable incluidas en el estudio. Este análisis se realizó con el objetivo de evidenciar la presencia de electrolitos disueltos, ya que el agua pura no debería presentar conductividad eléctrica alguna, por su ausencia de electrolitos, a diferencia del agua potable, que presenta algunos electrolitos disueltos (Cabrerizo, 2008). Como se ilustra en la figura 1, la muestra de agua que presentó la menor conductividad fue la de la zona de Poás, con 99,81 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la de mayor conductividad fue la proveniente de San Ramón, con 159 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En todos los casos los valores están dentro de los parámetros establecidos por el citado Reglamento, ya que se encuentran por debajo del valor recomendado, que es de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$; esto quiere decir que el agua analizada no presenta riesgo para la ingesta humana según el parámetro de la conductividad.

Seguidamente se realizó la prueba de densidad, que se considera una medida muy importante ya que varía con la presencia o no de los sólidos disueltos (Rodríguez et al., 2009). La densidad del agua normalmente corresponde a un valor de 1,0000 g/mL , por lo que las muestras de agua analizadas se encuentran bien ya que están cercanas a este parámetro, todas ligeramente por debajo del valor indicado, oscilando entre 0,9960 y 0,9980 g/mL experimentalmente, lo que hace prever que se trata de agua con pocos sólidos disueltos.

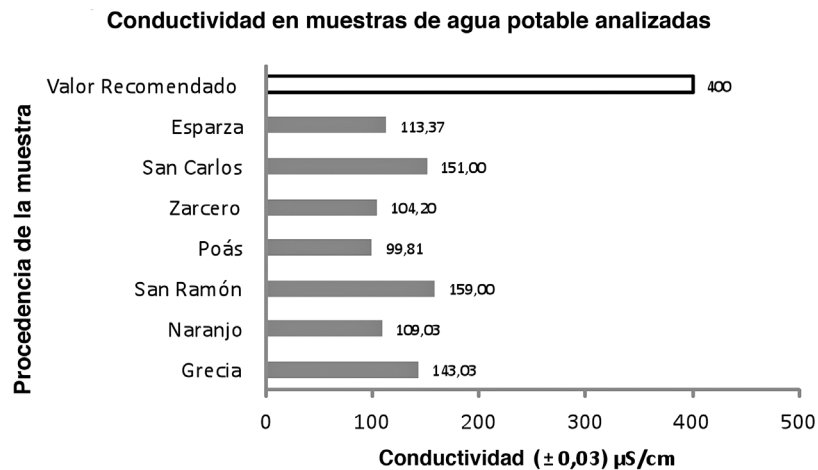


Figura 1. Resultados de la prueba de conductividad eléctrica en muestras de agua potable

En cuanto a la determinación del pH, este es un factor muy importante ya que, dependiendo de su valor, se puede identificar si una muestra carece de nutrientes o presenta niveles de toxicidad. La medida del pH debe estar en alrededor de 6,5 para ser un valor recomendable. Las aguas con un pH bajo pueden incrementar la corrosión de los tubos de acero; además, el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección y el control de la corrosión (Raudel, 2003). Al analizar los resultados obtenidos, donde el valor recomendado por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable es de 6,5 y el máximo admisible es de 8,5, se tiene que todas las muestras analizadas están dentro de lo especificado, ya que se obtuvo 6,44 como valor mínimo de pH en el caso de la muestra de agua de Zarcero y 7,32 como valor máximo de pH obtenido en el caso de San Ramón. Además, cabe señalar que las aguas de Grecia, Naranjo y Zarcero se destacan como las mejores en cuanto al pH, ya que su valor se encuentra muy cercano a lo recomendado, tal y como se ilustra en la figura 2. Según Mora y Mata (2003), la variabilidad del pH de un sector a otro puede verse influenciada por el tratamiento aplicado al agua o por el tipo de cuenca del cual proviene, debido a la riqueza de minerales que esta posee, lo que altera el potencial de hidrógeno presente en el agua.

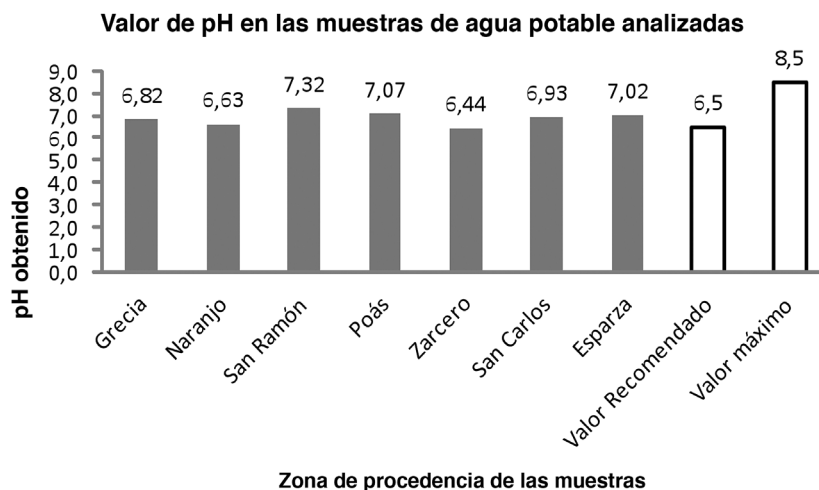


Figura 2. Resultados de la prueba de pH en muestras de agua potable

La prueba para determinar la dureza conllevó un análisis independiente para establecer la dureza cálcica de las muestras analizadas. La dureza total del agua corresponde a la suma de la concentración de iones polivalentes, y su determinación se realiza por medio de valoraciones complejométricas a pH cercano a 10 en un medio amoniacal; mientras que en la dureza cálcica se determina solo la concentración de calcio y el análisis se realiza a pH 13 sin amoniaco (Harris, 2007). La dureza total se mide como CaCO_3 y la presencia de aguas duras puede tener consecuencias económicamente importantes (Snoeyink, 1980). El problema de la dureza se refleja más en aguas subterráneas, como el agua de naciente, que en aguas superficiales como la de los ríos, ya que por lo general estas arrastran más minerales como calcio y magnesio que aumentan la dureza.

En el análisis específico de dureza total, los resultados obtenidos oscilaron entre valores de 40 y 121 mg/L de CaCO_3 , correspondientes a las muestras de agua potable de Poás y San Ramón, respectivamente. Como se ilustra en la figura 3, todos los casos presentaron valores muy por debajo de lo recomendado, y cabe destacar que esta característica específica hace referencia a la suma de las concentraciones de los cationes metálicos, principalmente iones de calcio y magnesio presentes en el líquido, como se señaló anteriormente.

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable establece que el valor recomendado es de 400 mg/L CaCO_3 con un máximo permitido de 500 mg/L CaCO_3 . Con base en los resultados expuestos y su comparación con lo establecido por el decreto No. 32327-S, se puede decir con toda certeza que estos son bastante favorables, ya que los valores no se salen de lo admisible en ninguna muestra, todo lo contrario, más bien se encuentran muy por debajo de la concentración recomendada. Es pertinente señalar que la concentración de cationes metálicos en todos los casos es relativamente baja, sobre todo en los casos de Zarcero, Esparza, Grecia y Naranjo y, aunque la concentración de CaCO_3 en San Ramón es un poco más alta, de igual forma se encuentra lejos de considerarse peligrosa o nociva para la salud humana. Es vital resaltar la importancia de controlar la dureza del agua potable, ya que las aguas blandas y duras han sido relacionadas con problemas cardíacos y cálculos renales, respectivamente. (Alfaro & Mora, 1999).

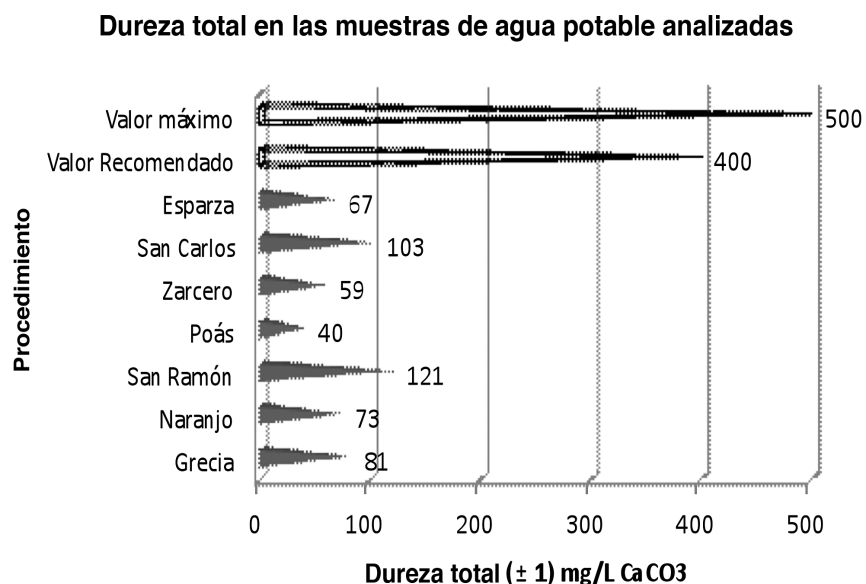


Figura 3. Resultados de la prueba de dureza total en las muestras de agua potable

En el caso de los resultados de la prueba de dureza cálcica, estos oscilan entre 26 y 92 mg/L CaCO_3 para las muestras de Poás y San Carlos, respectivamente, y en la muestra de agua de San Ramón no se detectó dureza cálcica, lo que las ubica dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento para todos los casos. El decreto en cuestión establece como valor recomendado para la concentración de dureza cálcica en agua potable 100 mg/L como calcio, por lo cual, si el valor recomendado se considera como el que genera el mínimo riesgo, entonces la presencia de dureza cálcica en el agua potable analizada no genera ningún riesgo, por lo que su consumo no se puede considerar perjudicial para la salud humana.

Seguidamente, los resultados para la determinación de calcio y magnesio por absorción atómica (ver figura 4A y 4B, respectivamente) evidencian que, en todos los casos, las cantidades de ambos elementos son óptimas para el consumo humano, puesto que sus valores están dentro de los recomendados por el Reglamento, que corresponden a 100 mg/L y 30 mg/L para calcio y magnesio, respectivamente. Los resultados oscilan entre 0 y 32,1 mg/L para las muestras de San Carlos y San Ramón, respectivamente, en el caso del calcio; además de 2,3 y 7,4 para las muestras de Naranjo y San Carlos, respectivamente, con respecto al magnesio.

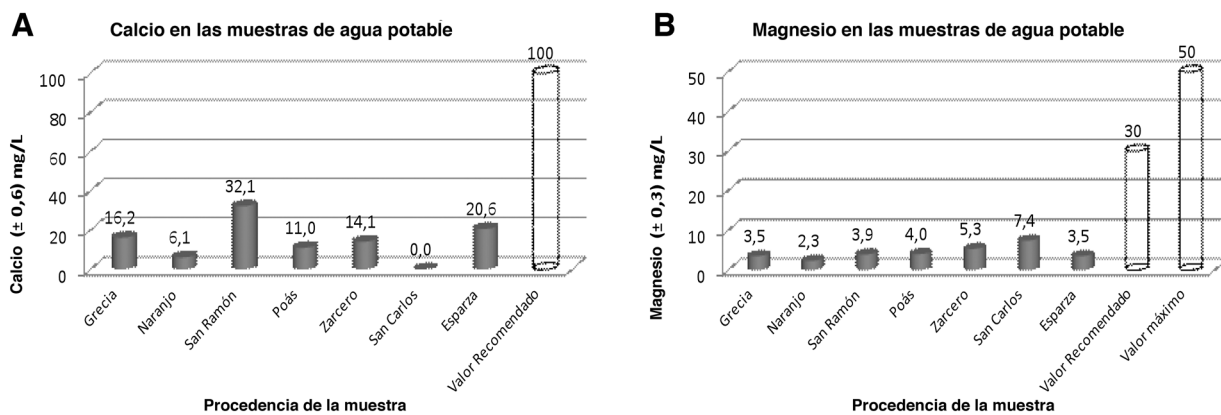


Figura 4. Resultados de las determinaciones de calcio y magnesio en las muestras de agua potable

En los resultados de alcalinidad, la cual expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir soluciones ácidas o alcalinas, esta corresponde principalmente al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. El rango de la alcalinidad en aguas domésticas, es decir, el agua potable, oscila en valores de 50 a 200 mg/L CaCO_3 . El principal efecto de la alcalinidad es que reacciona con ciertos cationes que se encuentran en el agua, lo que provoca precipitados no deseados en las tuberías de agua (Jiménez, 2001).

A nivel internacional se acepta una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO_3 /L para mantener la vida acuática (Goyenola, 2007). Además, cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores son propensas a la contaminación, porque no tienen la capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH. Aunque el rango de la alcalinidad total llega a un máximo de 200 mg/L, en países como Colombia se admite un valor de 100 mg/L.

En esta prueba se obtuvieron resultados favorables para las muestras de agua de las zonas de Grecia, Naranjo, Poás, Zarzero y Esparza, que se encuentran dentro del rango de lo que se admite como normal en la alcalinidad del agua potable, oscilando entre 66 y 128 mg/L para las muestras de Grecia y Esparza, respectivamente. En los casos de San Ramón y San Carlos, las muestras no cumplen con los valores recomendados para la alcalinidad total, establecidos

en un máximo de 200 mg/L (recomendado mayor a 30 mg/L) según la literatura consultada, ya que estos fueron de 214 y 224 mg/L, respectivamente. Dado que la alcalinidad de las aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, esta se toma como un indicador de dichas especies iónicas (Baird, 2001).

La prueba final fue la determinación de cloruros. Este análisis resulta muy importante porque todas las aguas naturales contienen este componente, sin embargo, se debe verificar su concentración dado que puede dañar la salud. En este caso, los resultados oscilaron entre 20,8 y 23,3 mg/L Cl- correspondientes a las muestras de Naranjo y Grecia, respectivamente, como se ilustra en la figura 5.

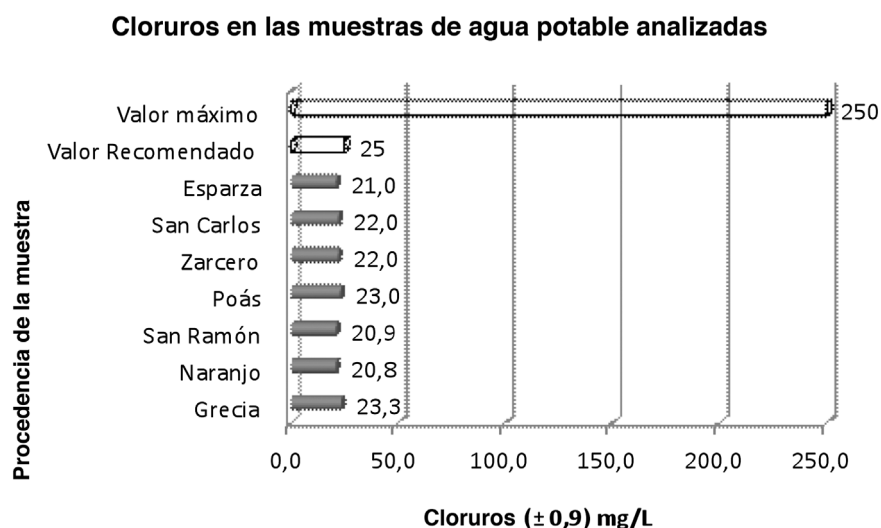


Figura 5. Resultados de la prueba de cloruros en las muestras de agua potable

Según el decreto No. 32327-S, se considera como un valor idóneo 25 mg/L Cl- y como un valor máximo admisible 250 mg/L Cl-. Partiendo de lo estipulado en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, se puede destacar que en su totalidad las aguas en estudio se encuentran bastante bien en este aspecto, pues se encuentran muy por debajo del límite permitido y ni siquiera llegan al valor recomendado, lo cual es favorable en todo sentido. Es destacable que el agua de Grecia presenta una concentración un poco mayor de cloruros con respecto a las otras muestras, no obstante, esto es algo que no debe causar preocupación ya que no presenta ningún inconveniente en cuanto al consumo humano. La concentración de cloruros en aguas naturales es muy variable, pues depende de las características de los terrenos que atraviesan. Dicha concentración es menor comparada con la del ion en aguas residuales, ya que la actividad humana necesariamente la incrementa (Melgarejo, 2003).

Consideraciones finales

Con base en lo establecido por el decreto No. 32327-S, se puede concluir que el agua de las siete zonas comprendidas en el estudio reúne las condiciones mínimas para la ingesta del líquido por el ser humano.

Es importante destacar que los factores determinantes en la alteración del sabor del agua potable en cada región, corresponden al nivel de dureza y alcalinidad presente en el agua, debido a que pueden arrastrar metales que no le pertenecen.

Con respecto al valor del pH, es deseable mantener este parámetro en 6,5 como condición estable en aguas destinadas al consumo humano, a raíz de que la alteración de dicho factor puede traer consecuencias adversas por falta de nutrientes o presencia de sustancias que generan toxicidad para la salud humana.

En cuanto a la dureza total y la presencia de calcio y magnesio en el agua, estos son parámetros importantes que se deben controlar, ya que su cuantificación determina la potabilidad del agua, debido a que la presencia de iones de calcio y magnesio en exceso puede producir problemas cardiovasculares y sabores indeseados en el líquido.

La alcalinidad total es otro parámetro importante de controlar, ya que ayuda a verificar si el agua presenta la concentración adecuada de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que hacen que no disminuya el pH en presencia de ácidos. Es decir, se debe verificar y controlar que el agua no sea propensa a acidificarse, ya que de lo contrario dejaría de ser potable.

El contenido elevado en cloruros puede causar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano (daños estomacales y renales), además de acelerar la corrosión de conducciones y estructuras metálicas. Por eso es necesario verificar su presencia en las cantidades recomendadas.

La presencia de minerales y iones Cl⁻ depende en gran medida del terreno por donde atraviese la fuente principal de abastecimiento (río, nacimiento, etc.), por lo tanto, es de suma importancia regular las concentraciones de estos elementos para asegurar una buena calidad del agua que se consume diariamente.

Bibliografía

- Alfaro, N. & Mora, D. (1999). *Caracterización y distribución por cantones de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para consumo humano en Costa Rica*. Obtenido de <http://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/054.pdf>
- Arnedo, C., Azofra, J., Usón, C. & Zapata, M. (2009). *III Semana de la ciencia y tecnología: El Agua*. España: Secretaría General Técnica.
- Baird, C. (2001). *Química ambiental*. Barcelona: Editorial Reverte.
- Cabrerizo, D. (2008). *Física y Química. 1 Bachillerato*. Pozuelo de Alarcón, Madrid: Editec.
- Campos, I. (2000). *Saneamiento Ambiental*. 1 ed. San José: Universidad Estatal a Distancia.
- Castellanos, M., Pérez, R. & Rico, A. (1997). *Curso de Química 1: agua y aire*. México: UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades.
- Galván, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
- Goyenola, G. (2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Alcalinidad. Determinación de la Alcalinidad Total*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. RED MAPSA. Versión 1.0.
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. 6 ed. Barcelona: Editorial Reverte.
- Heyward, V. (2001). *Evaluación y prescripción del ejercicio*. 2 ed. Barcelona: Paidotribo.
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: UNAM y FEMISCA.
- Laitinen H. & Harris, W. (1982). *Análisis Químico*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Melgarejo, J. (2003). *Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada*. Barcelona: Editorial Universitat.
- Mora, D. & Mata, A. (2003). *Conceptos básicos de aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales*. Obtenido de [https://www.aya.go.cr/Administracion/DocumentosBoletines/ Docs/220910092551ONCEPTOSBASICOSDEAGUASPARAConsumoHumanoY-DisposiciondeAguasResiduales.pdf](https://www.aya.go.cr/Administracion/DocumentosBoletines/Docs/220910092551ONCEPTOSBASICOSDEAGUASPARAConsumoHumanoY-DisposiciondeAguasResiduales.pdf).

- Morell, I. & Hernández, F. (2000). El agua en Castellón: un reto para el siglo XXI. Castellón de la Plana: Editorial de la Universidad Jaume. España.
- Neira, M. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile. Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- Poder Ejecutivo. (2005). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. San José: La Gaceta N° 84.
- Ramallo, R. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté.
- Ramos, R., Sepúlveda, R. & Villalobos, F. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Rigola, M. (1989). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Editorial Marcombo.
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS) de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. Universidad de Costa Rica.
- Rodríguez, J., Vargas, E. & Gómez, M. (2009). Procesos Industriales: Manual de Laboratorio para el análisis químico y control de calidad. Heredia, C.R.: Universidad Nacional.
- Rodríguez, S. (2010). Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental. Argentina: Editorial: Universidad Tecnológica Nacional. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
- Seoánez, M. (2001). Tratado de gestión del medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa.
- Snoeyink, V. & Jenkins, D. (2000). Water Chemistry. New York: John Wiley & Sons.
- Teijón, J. & Garrido, A. (2006). Fundamentos de bioquímica estructural. 2 ed. Madrid: Editorial Tébar.
- Vian, Á. (2006). Introducción a la química industrial. Barcelona: Editorial Reverté.
- Voet, D., Voet, J. & Pratt, C. (2008). Fundamentos de bioquímica, la vida a nivel molecular. 2 ed. España: Editorial Panamericana.

Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa, Costa Rica

Development of an environmental management novel program in watersheds to improve water quality in rivers in the Reserva Forestal Golfo Dulce in Península of Osa, Costa Rica

Guillermo Calvo-Brenes^{1*}, Jesús Mora-Molina²,
Adrián Chavarría-Vidal³, Antonio Orozco-Barrantes⁴

Fecha de recepción: 9 de diciembre de 2015
Fecha de aprobación: 26 de marzo de 2016

Calvo-Brenes, G; Mora-Molina, J; Chavarría-Vidal, A;
Orozco-Barrantes, A. Desarrollo de un programa piloto de gestión ambiental en microcuencas para mejorar la calidad de los ríos en la Reserva Forestal Golfo Dulce, Península de Osa. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 15-29.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2285



1. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica; correo electrónico: gcalvo@itcr.ac.cr
 2. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica; correo electrónico: jmora@itcr.ac.cr
 3. Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica; correo electrónico: adchavarría@itcr.ac.cr
 4. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC); correo electrónico: antonio.orozco@sinac.go.cr
- * Contacto de correspondencia.

Palabras clave

Gestión ambiental; índice de calidad; microcuencas; modelo de predicción de la calidad del agua.

Resumen

Los procesos que lleven a un desarrollo sostenible deben incluir crecimiento económico, social y cultural. El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Estudios sobre calidad de agua llegados a cabo en el pasado muestran la relación existente entre esta y su entorno socioambiental.

En la Península de Osa (Costa Rica), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha comprado terrenos dentro de la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD) a particulares sin contar con políticas de compra, y desconociendo el impacto que su uso tiene sobre la calidad de las aguas.

El objetivo del proyecto fue elaborar un programa de gestión ambiental a través de la compra de terrenos, orientado a la protección o mejora de la calidad de las aguas.

El uso de un modelo de predicción de la calidad del agua basado en variables socioambientales fue la herramienta que permitió evaluar el impacto de los cambios ambientales en la calidad del agua, a través del análisis de distintos escenarios en el área seleccionada para el estudio.

Se encontró que los usos del suelo para pasto o charral-tacotal no ejercen una influencia negativa sobre la calidad del agua. Lo contrario ocurre cuando el suelo se usa con fines agrícolas. Se concluyó que el SINAC debe incrementar la compra de terrenos dentro de la RFGD cuyo uso idóneo sea como bosque, para contrarrestar el posible uso extensivo en actividades agrícolas en la zona costera del área de estudio donde el SINAC no tiene injerencia.

Keywords

Environmental management; quality index; watershed; water quality prediction model.

Abstract

Processes that lead to a sustainable development should include economical, social and cultural development. Water use is the best indicator of economical and social development of a country. Research done in the past shows the relationship between water quality and environmental variables.

In the Peninsula of Osa, the Conservation Area National System (SINAC) has begun a land acquisition processes inside the Golfo Dulce Forestal Reserve (RFGD) from private landowners without having clear buying policies and not knowing the impact in water quality the different use land has on it.

The project objective was to elaborate an environment protection program based on land acquisition policies focus on the protection or improving on water quality.

The use of a water quality prediction tool based on environment variables was key to evaluate the effect of environmental changes in water quality, through the analysis of different scenarios in the area selected.

It was found that land use for pasture or chaparral does not negatively affect the water quality. All the contrary occurs when land use is agricultural. The conclusion is that SINAC has to increase the land buying program inside the RFGD to be used for forest, ideally, to overcome possible extensive use of land in agricultural activities along the coastal area, where SINAC has no control.

Introducción

El modelo de desarrollo que la humanidad ha adoptado en las últimas décadas no ha sido eficaz para llevar bienestar a las comunidades, lo que se evidencia en la grave situación ecológica y social en que vivimos (Novo, 2006).

En el plano ecológico se tiene el cambio climático, la deforestación, la contaminación de agua, aire y suelos, el agotamiento de acuíferos y reservas de agua, la degradación de suelos, la extinción de especies y la degradación de paisajes, que son prueba de la insostenibilidad del modelo (Novo, 2006).

Las poblaciones urbanas, así como las actividades agrícolas e industriales, contaminan las cuencas hidrográficas seriamente, al no existir un plan de desarrollo urbano (Barrantes, 2005; Ramírez, 2003). Costa Rica no cuenta con un plan de desarrollo urbano que contemple la regulación de los distintos usos del suelo. La Península de Osa merece una mayor atención, dado el incremento sostenido que se viene dando en actividades agrícolas, así como el creciente interés en su desarrollo turístico (Calvo-Brenes & Mora-Molina, 2012a, 2012b; Calvo-Brenes, 2013).

La Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD), ubicada en la Península de Osa, fue creada en el año de 1978 y tiene un área de 61 900 hectáreas (ha). Está formada por bosques y terrenos con actitud forestal, donde el objetivo principal es la protección del suelo, la regulación del régimen hidrológico y la conservación del ambiente y las cuencas hidrográficas. La RFGD alberga tres parches de bosques nubosos: los cerros Chocuaco, Brujo y Rincón, que se encuentran en tierras más bajas que otros bosques nubosos del país.

La RFGD es un área relativamente extensa, en general boscosa e incluye importantes microcuencas como las de los ríos Rincón, Riyito y Nuevo; además de espejos de agua dulce, como las lagunas Sierpe y Chocuaco, que están rodeadas de pantanos con plantas herbáceas. Entre las subcuencas y microcuencas destacadas de esta reserva están Drake, Agujas, Rincón, Conte, Barrigones, Sábala, Tigre (que incluye el río Nuevo), Platanares, Madrigal, Carate, Pejeperro, Piro y Tamales. Los ecosistemas lóticos de la RFGD comprenden los ríos y sus bosques ribereños a 40 m en ambos lados del río. Estos, además de contribuir con la regulación del clima y microclimas, contribuyen al enriquecimiento de la biodiversidad regional por medio de especies de flora y fauna de agua dulce, las cuales incluyen 12 especies de peces endémicas tales como *Piabucina boruca*, *Astatheros diquis* y *Bryconamericus terrabensis* (Soto & Jiménez 1992).

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) ha comprado terrenos a particulares dentro de los límites de la RFGD desde los años 90. Hasta el día de hoy se han adquirido 51 inmuebles que se encuentran dispersos dentro de la RFGD. La adquisición de estos terrenos se ha realizado sin contar con políticas o metodologías para la adquisición de nuevas tierras ni relacionadas con el uso que se les debe dar. También se desconoce el efecto que estos terrenos tienen en la actualidad sobre la calidad de las aguas.

El agua es un elemento esencial, no solo para la preservación de la vida sino también para la conservación de la flora y la fauna de una región, que representan en algunos casos el atractivo turístico de la zona. Su conservación y su calidad están vinculadas de manera estrecha prácticamente a todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como a la salud de la población.

La determinación de la calidad de las aguas superficiales se lleva a cabo a través del uso de distintos indicadores físicoquímicos, microbiológicos y biológicos, así como índices de calidad. En Costa Rica, los criterios y metodologías que se utilizan para evaluar la calidad de los cuerpos de agua superficiales están establecidos en el Reglamento para la evaluación y clasificación

de la calidad de cuerpos de agua superficiales (MINAE, 2007). El Reglamento pretende que los criterios de calidad establecidos permitan la clasificación de los ríos para los diferentes usos que pueden dársele a este bien. El reglamento costarricense clasifica la calidad del agua en cinco clases diferentes que, a su vez, se relacionan con 11 usos distintos que se le pueden dar al agua.

Resulta más práctico seleccionar una sola clase, independientemente de su uso, pero que se considere de alta relevancia. La Clase 2 del Reglamento es una categoría altamente deseable en nuestros ríos, ya que se asocia con actividades recreativas de contacto primario, con la acuicultura, así como con la protección de las comunidades acuáticas. Asimismo, esta calidad del agua se puede emplear en el riego de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que se ingieren sin eliminarles la cáscara (MINAE, 2007).

Metodología

Con el fin de establecer un programa de gestión ambiental orientado a generar calidades de agua cuyo uso sea apropiado como Clase 2 en la Península de Osa, se utilizó la herramienta de predicción de calidad del agua basada en parámetros poblacionales y el entorno recientemente elaborada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) (Calvo-Brenes, 2013).

La figura 1 presenta una clasificación de la calidad del agua dividida en rangos y colores cuyo uso facilita la interpretación de resultados. Esta clasificación está asociada a la clasificación por clases del Reglamento costarricense así como a una codificación por colores.

Primeramente, fue necesario evaluar la calidad actual de las aguas analizando indicadores de calidad fisicoquímicos y microbiológicos, con el fin de validar el uso del modelo de predicción de la calidad del agua como herramienta.

De manera paralela, se evaluaron aquellas variables socioambientales de la zona que forman parte del modelo para predecir la calidad de las aguas a mediano y largo plazo por medio de la herramienta. Con esta información y el uso del modelo, se pueden simular diferentes escenarios con relación a las distintas coberturas del suelo.

La información así generada permitió establecer un programa de gestión ambiental para el SINAC en lo concerniente a la compra de terrenos, la extensión total requerida y el uso que se les puede dar, cuyo impacto favorezca que la calidad del agua sea Clase 2. Las etapas a través de las cuales se realizó este proyecto fueron las siguientes:

Ubicación de las áreas de estudio

La RFGD cubre una extensión muy amplia de territorio, de la cual forman parte Bahía Drake, la laguna de Chocuaco y sus alrededores, parte de la subcuenca de Rincón. También incluye zonas como Piedras Blancas y Golfito, según se observa en la figura 2.

Dado lo extenso de la RFGD, no es posible efectuar el estudio en cada una de las microcuencas o subcuencas que constituyen el área, ya que el costo sería muy alto. Por lo tanto, fue necesario elegir una subcuenca que representara las características geomorfológicas de la zona y los usos del suelo, de manera que el programa piloto de compra de tierras propuesto se pudiera aplicar a otros sitios no estudiados.

Con este objetivo, se seleccionó la subcuenca de Rincón, por ser una zona relativamente extensa y con un uso del suelo bastante variado. Además, en ella se observaron tres franjas: una superior cercana al Parque Nacional Corcovado, otra media que forma parte de la RFGD y una baja cercana a la zona costera, donde el uso del suelo varía entre urbano, agrícola y ganadero, principalmente, sobre los cuales el SINAC carece de control (figuras 2 y 6).

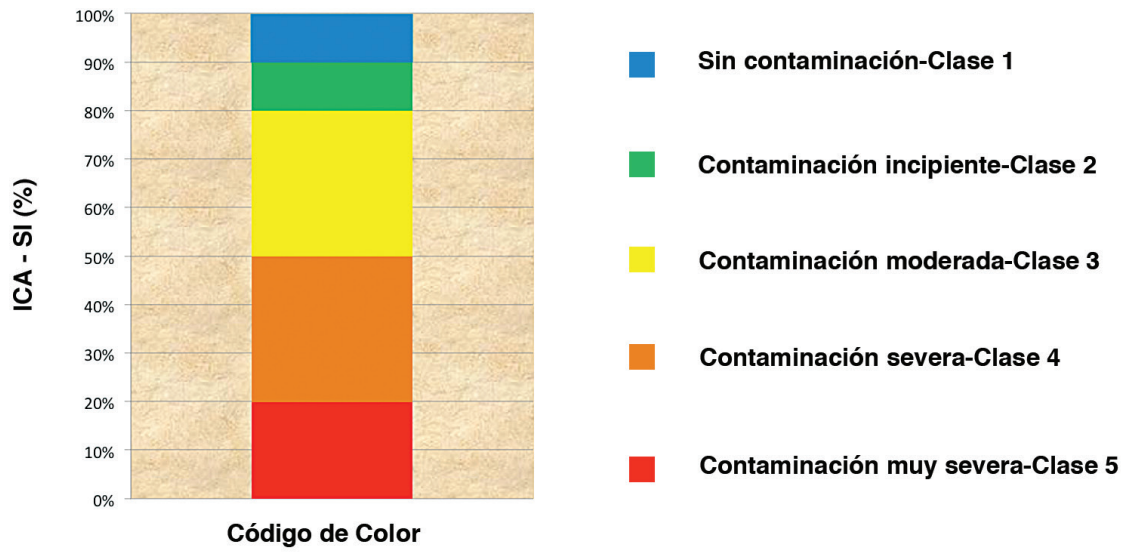


Figura 1. Clasificación de la calidad del agua por clases. Fuente: Calvo-Brenes, 2013.

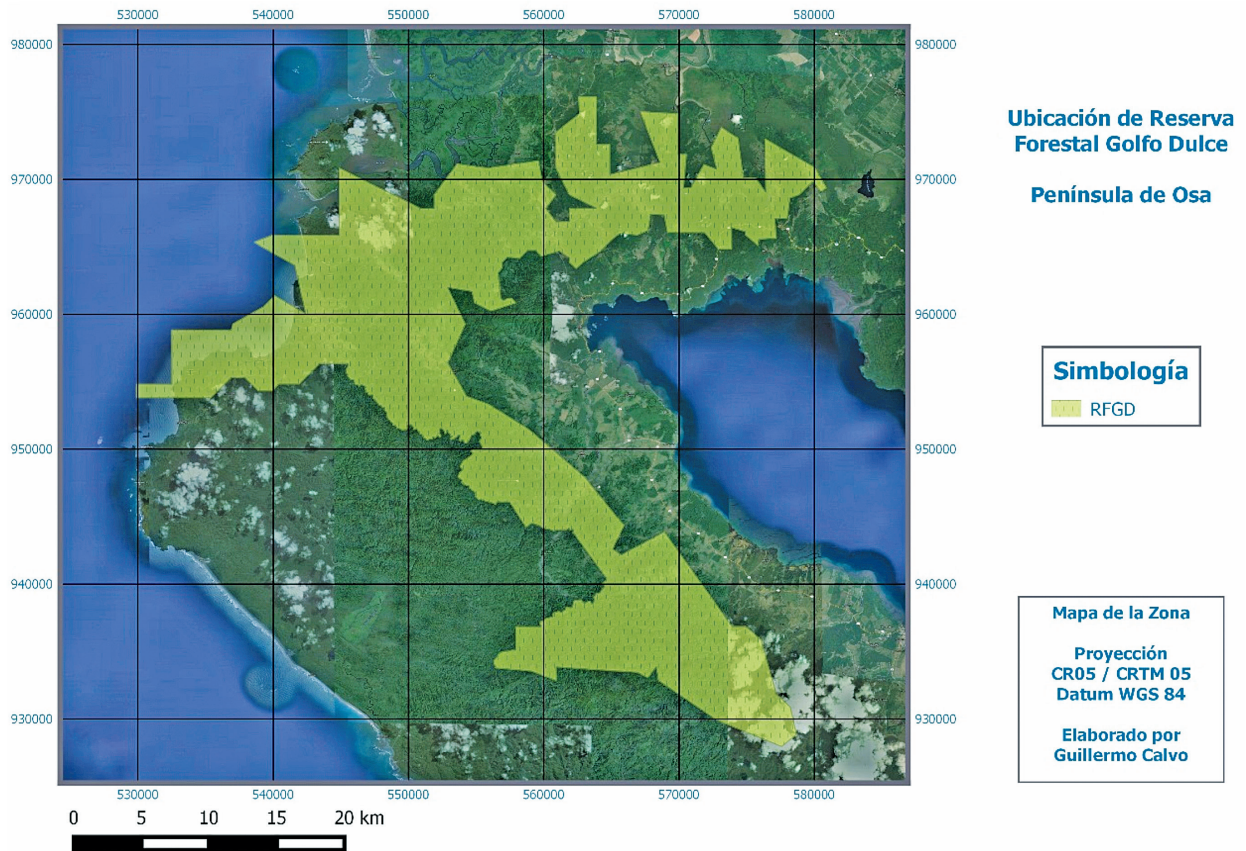


Figura 2. Delimitación del área de la Reserva Forestal Golfo Dulce

Si bien interesa evaluar la calidad del agua en la zona cercana a la desembocadura del río Rincón, se observó que existe una serie de ríos tributarios cuyo entorno varía entre uno y otro, diferencias que pueden ocasionar que la calidad de sus ríos sea diferente entre sí. Por esa razón, se consideró conveniente estudiar la calidad del agua de los distintos puntos de muestreo, con el fin de detectar anomalías, si las hubiera, en alguna de las descargas de los tributarios y que estuviera relacionada con entornos diferentes. El cuadro 1 y la figura 3 presentan los puntos de muestreo seleccionados y su ubicación geográfica.

Cuadro 1. Puntos de muestreo utilizados para evaluar la calidad del agua

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Coordenadas geográficas	
		Latitud	Longitud
G_1	Río Riyito-Después	08° 40' 59,1" N	083° 29' 05,3" W
G_2	Río Rincón-Antes	08° 40' 45,7" N	083° 29' 00,1" W
G_3	Río Riyito-Antes	08° 40' 43,8" N	083° 29' 11,4" W
G_4	Río Rincón-Después	08° 41' 22,0" N	083° 28' 33,3" W
G_5	Quebrada Aguabuena	08° 41' 31,0" N	083° 30' 16,4" W

Nota:

- 1.La palabra *Antes* indica que el punto de muestreo está antes de la descarga de un tributario a este río.
- 2.La palabra *Después* indica que el punto de muestreo está después de la descarga de un tributario a este río.

Validación del modelo de predicción del Índice de Calidad del Agua

El modelo de predicción fue sometido a un proceso de validación antes de utilizarlo. El procedimiento consistió en evaluar la calidad del agua mediante el análisis de los indicadores de calidad. De manera paralela, se evaluaron las variables socioambientales, con el fin de predecir la calidad del agua por medio del modelo.

Por último, se compararon los resultados de ambos procedimientos, los cuales deben estar dentro del rango de variabilidad del modelo (Calvo-Brenes, 2013).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) que se utilizó fue el ICA-4b-Gmo, cuya forma de cálculo la detalla el investigador Guillermo Calvo-Brenes (2013). Se efectuaron muestreos bimensuales durante un período de 12 meses y los indicadores evaluados para el cálculo fueron los siguientes:

- Indicadores fisicoquímicos. Se analizaron los nitratos, la demanda bioquímica de oxígeno, el nitrógeno amoniacal, la alcalinidad, el fósforo de fosfatos, el porcentaje de saturación de oxígeno y la turbiedad. La metodología, tanto para el análisis como para el muestreo de estos indicadores, fue la establecida en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).
- Indicador microbiológico. El indicador de calidad microbiológico seleccionado fueron los coliformes fecales, cuya metodología de análisis y muestreo también se describe

en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). El análisis lo efectuó el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), un laboratorio acreditado con la norma ISO 17025.

Los muestreos se llevaron a cabo durante los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre de 2014, así como enero de 2015.

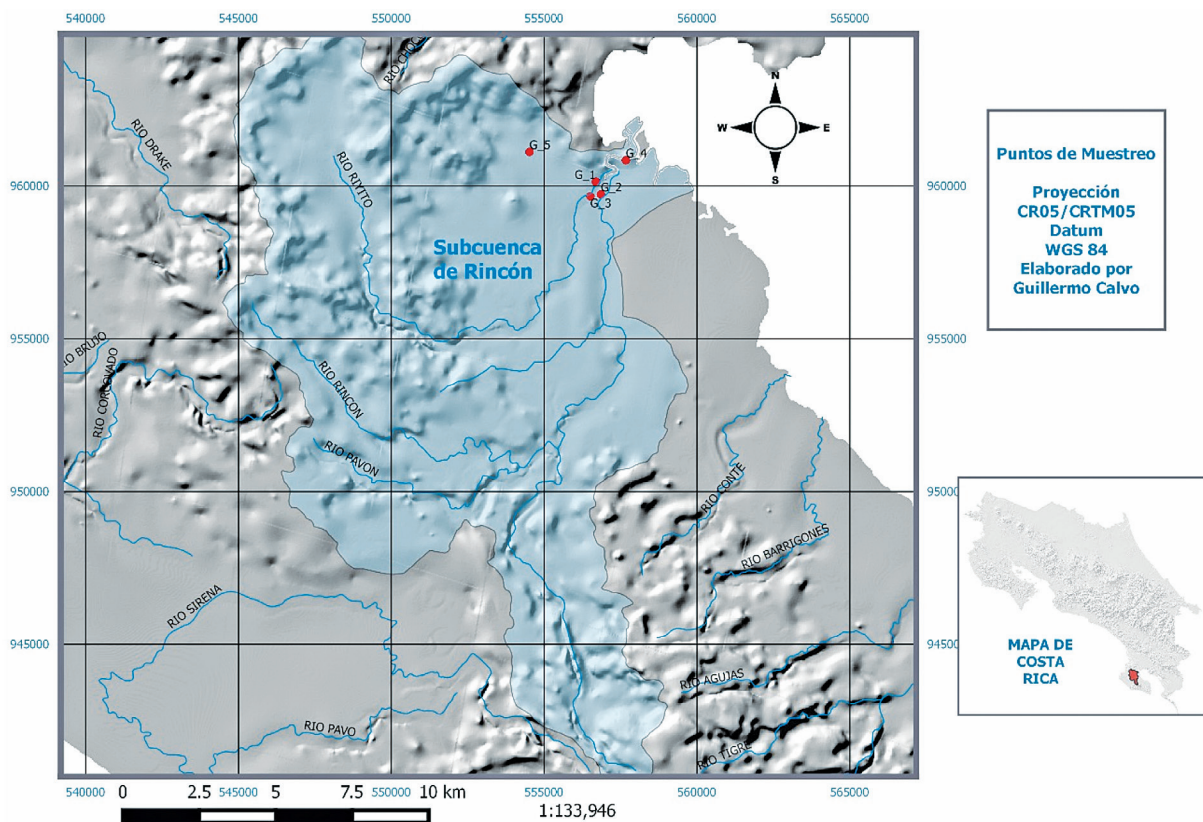


Figura 3. Localización de los puntos de muestreo en la subcuenca del río Rincón

Cálculo del ICA

El cálculo del ICA se efectuó empleando la fórmula de agregación 1, que se muestra a continuación (Calvo-Brenes, 2013):

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

donde:

Sli es el subíndice de cada indicador

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

El cálculo de los distintos SI se efectuó según la metodología descrita por Calvo-Brenes (2013).

Variables poblacionales y del entorno

El modelo requiere el uso de variables poblacionales y del entorno que tienen relación con la calidad de las aguas en los puntos de muestreo.

Los datos sobre densidad poblacional (número de habitantes por kilómetro cuadrado) se obtuvieron haciendo un muestreo a nivel de campo.

Las coberturas del suelo evaluadas fueron las recomendadas por Hernández (2010), con excepción de la distinción entre los tipos de bosque. Los usos seleccionados fueron: uso urbano, cultivos estacionales, cultivos permanentes, pastos, bosque y charral-tacotal.

Para el análisis de uso-cobertura se utilizaron imágenes elaboradas por Broadbent (2015), con el apoyo del *software* Quantum GIS, versión 12.2.0.

La zona riparia se analizó utilizando las imágenes satelitales generadas con el programa Google Earth Pro, versión 7.1.5.1557. En cada río estudiado se trazó una línea que sigue su cauce desde el nacimiento hasta el punto de muestreo. Esta línea se dividió en 10 segmentos y en cada punto se determinó la longitud transversal con relación al cauce del río que posee cobertura boscosa y limita con áreas carentes de ella. El promedio del valor de esa cobertura boscosa se le asignó al resto de la información del punto de muestreo correspondiente, asumiendo que ese punto será afectado por las características de dicha cobertura.

Se analizó la textura del suelo para determinar su composición porcentual en contenido de arena, limo y arcilla. La textura del suelo es la relación porcentual de las partículas minerales de un tamaño menor a 2 mm y divididas en tres rangos de tamaños. Para esto se utilizó el método de Bouyoucos, que consiste en un proceso de medición basado en la velocidad de sedimentación diferenciada de la arena, el limo y la arcilla, medido a diferentes tiempos con un densímetro ASTM 152H (g/l) (Chavarría, 2010). El procedimiento que se siguió es el descrito en el *Manual de Laboratorio de Edafología*, utilizado en el TEC (Chavarría, 2010).

Además, se usó la clasificación del United States Department of Agriculture (USDA) que emplea un triángulo de la textura del suelo en el cual las distintas combinaciones se clasifican en 12 grandes grupos. Cada una de estas categorías presenta distintos grados de infiltración (pulgadas/hora), lo que permite clasificar cualitativamente la textura en una escala de 1 a 12, partiendo del menor grado al mayor, respectivamente, (USDA, 2012).

El orden de las corrientes se determinó siguiendo el procedimiento indicado en *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (Aparicio, 2009). Dado que el número de corrientes tributarias que se contabilizan depende de la resolución de los mapas cartográficos, se utilizaron aquellas corrientes indicadas en mapas con una escala de 1:50000.

Otro indicador que se evaluó y que tiene relación con el grado de bifurcación es la densidad de drenaje Dd, que es la longitud de corrientes por unidad de área (Aparicio, 2009). Este se calculó de la siguiente manera:

$$Dd = Ls/A$$

donde:

Ls = Longitud total de las corrientes

A = Área de la cuenca

La pendiente del cauce principal es un indicador muy importante, porque se relaciona con el nivel de respuesta de la cuenca a tormentas pluviales (Aparicio, 2009). Existen varios métodos para estimar este dato, entre los cuales se seleccionó el de la pendiente media, cuyo cálculo se hace determinando el desnivel entre los extremos de la corriente y dividiéndolo entre la longitud medida en planta (Aparicio, 2009)

Se calcularon las pendientes de todo el cauce, tanto en forma longitudinal siguiendo la dirección del río; así como la transversal, tanto el lado izquierdo y el derecho; además, se determinó el

valor medio transversal. El programa Google Earth tiene una función que permite determinar la pendiente promedio en forma precisa.

Definición de criterios para la compra de terrenos

El modelo de predicción de la calidad del agua Clase 2 tiene la virtud de predecir el ICA considerando solamente variables socioambientales y está basado en un modelo de regresión multivariable. Algunas de esas variables son fijas, como la textura del suelo, y otras son modificables, como el uso del suelo. La variable dependiente o respuesta del modelo corresponde al valor del ICA predicho, mientras que el componente independiente o predictor está compuesto de una serie de variables socioambientales.

Para facilitar el trabajo de simulación se desarrolló un programa en Excel, que permitió el ingreso de valores a cada una de las variables que componen el modelo y obtener una respuesta inmediata del valor del ICA predicho. Lo que interesa son aquellas condiciones en las que el ICA obtenga valores superiores al 80%, que hacen que un río sea apto para su uso como Clase 2 (Calvo-Brenes, 2013). De esta manera, es posible evaluar los distintos escenarios.

Como ya se dijo, algunas de estas variables socioambientales son fijas, como es la textura del suelo, y por lo tanto no se pueden modificar; otras sí pueden cambiarse, como es el uso del suelo. Cada uso de la tierra está expresado como un porcentaje del área total del estudio, sea como bosque o como pasto.

Resultados y discusión

El cuadro 2 muestra la calidad del agua en cada punto de muestreo y por fecha de la gira. Se observó que en la mayoría de los casos la calidad del agua fue superior al 90%, lo que corresponde a Clase 1. En algunos casos, el ICA fue inferior a la Clase 2, categoría que corresponde a un rango de 80-90%.

Información más detallada de estos resultados, reveló que dicha reducción en la calidad del agua por debajo de la Clase 2, estuvo relacionada con el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), los contenidos de coliformes fecales (CF) y los nitratos.

En el caso de los nitratos, cuya presencia en general se relaciona con el uso de fertilizantes, solamente ocurrió en un evento. En el resto de los casos de menor calidad del agua, estuvo asociada a PSO superiores al 100%, lo cual promueve los procesos de eutrofización. Además, estos niveles menores de la calidad del agua estuvieron asociados a altos contenidos de CF. Esto último es atribuible a la densidad poblacional de los animales que habitan en la zona, ya que la densidad humana es prácticamente de 0.

Estos eventos están relacionados con el incremento de las lluvias durante los últimos meses del año en la zona de Osa, que causan el aumento del caudal de los ríos y, por ende, una sobresaturación del oxígeno disuelto en el agua. Las fuertes lluvias también aumentan la escorrentía, que arrastra la materia orgánica hacia el río y, como consecuencia, causa un incremento de los CF.

En aquellos casos en los cuales la calidad del agua fue inferior a la Clase 2 en el punto de mayor interés, que es el G_4 (Rincón-Después), el dato parece no estar asociado a la calidad aguas arriba, pues esta propiedad es buena en los otros tributarios evaluados en los restantes puntos de muestreo. Esto hace sospechar que la disminución en la calidad fue más bien un evento muy puntual. Por lo tanto, es válido trabajar con el valor promedio del ICA de 85,4% que se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. ICA de cada punto muestreado, según fecha de la gira

Punto	Descripción	Gira 1 Mayo 2014	Gira 2 Julio 2014	Gira 3 Setiembre 2014	Gira 4 Noviembre 2014	Gira 5 Enero 2015	PROMEDIO
G-1	Riyito despues	92.0	92.7	89.5	93.6	95.1	92.6
G-2	Rincon antes	94.3	95.9	93.0	94.8	95.8	94.8
G-3	Riyito antes	61.7	94.1	91.1	27.2	94.8	73.8
G-4	Rincon despues	91.4	60.9	61.5	92.1	48.2	70.8
G-5	Quebrada Aguabuena	94.9	95.1	94.5	92.9	96.7	94.8
PROMEDIO							85.4

La figura 4 muestra los distintos usos del suelo en la subcuenca, donde se puede observar que los agrícolas y ganaderos se ubican principalmente en la zona costera, fuera de la RFGD (figura 6).

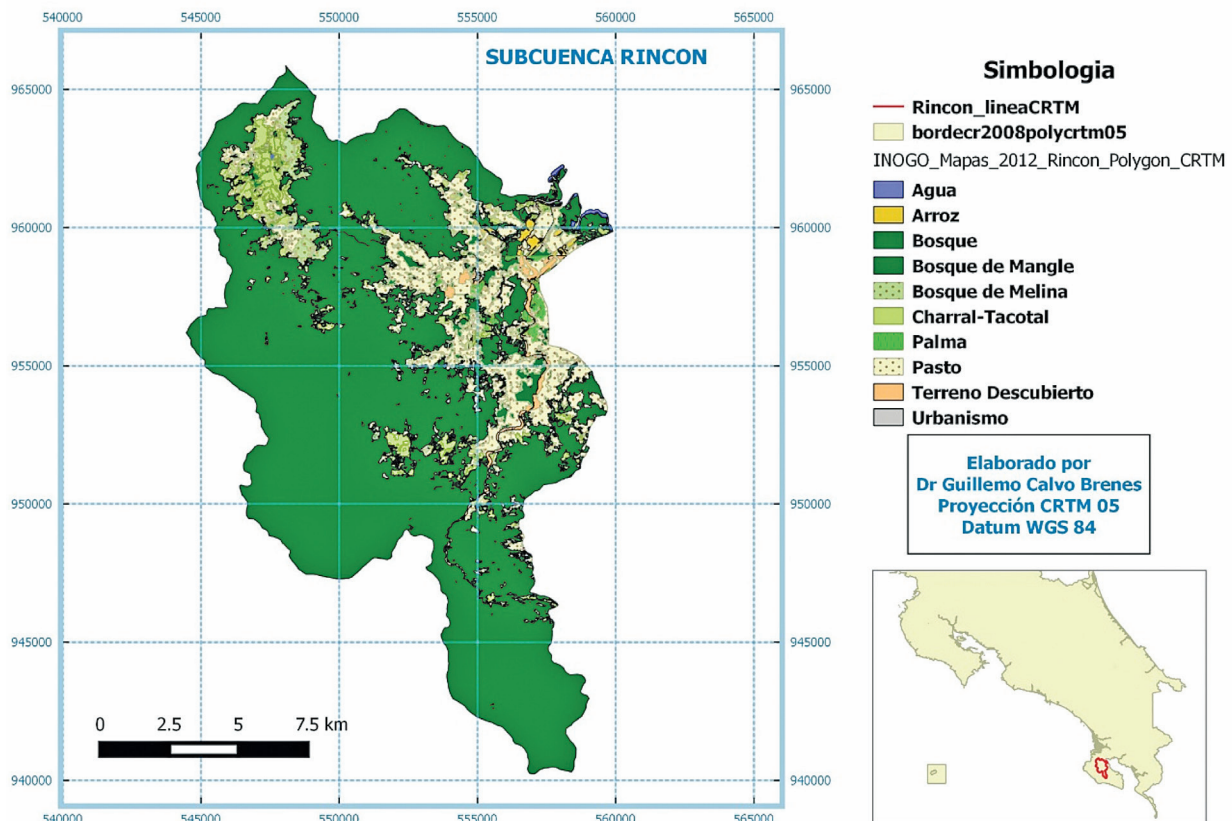


Figura 4. Distribución de la cobertura-uso del suelo en la subcuenca del río Rincón

Cuadro 3. Distribución de la cobertura-uso del suelo en la subcuenca del río Rincón

Uso	Área (Ha)	%
Bosque	16 706,5	78,2
Pasto	2 901,0	13,6
Charral-tacotal	1 187,5	5,6
Terreno descubierto	326,1	1,5
Palma	131,0	0,6
Arroz	104,9	0,5
Urbanismo	3,1	0,0
TOTAL	21 360,0	100,0

El cuadro 3 muestra que el 78% del área evaluada está dedicado a cobertura boscosa. El segundo mayor uso es el ganadero, con un 13,6% del área total. El uso agrícola es relativamente bajo (2,6%); sin embargo, existe un peligro potencial de que aumente a lo largo de los años.

La figura 5 muestra las diferencias que existen entre los usos del suelo en el área de estudio.

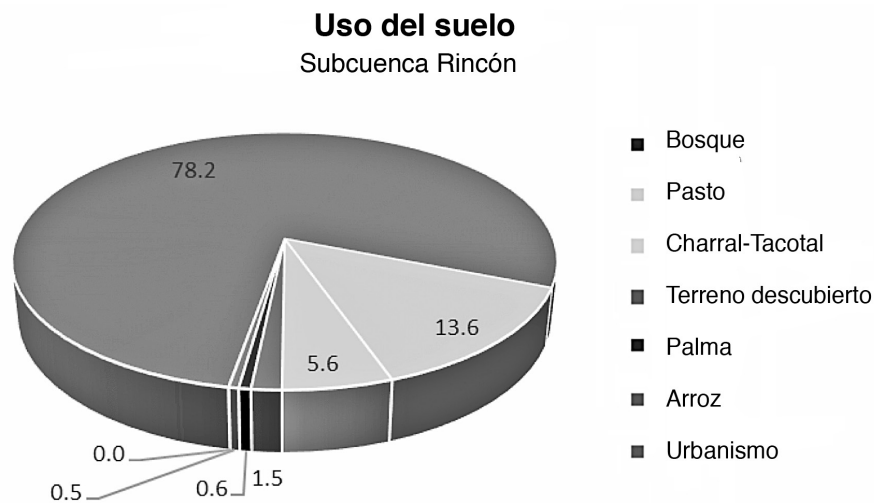


Figura 5. Distribución de la cobertura-uso del suelo en la subcuenca del río Rincón

La figura 6 muestra que la mayoría del uso agrícola y ganadero en la subcuenca se ubica en la franja costera, fuera de la RFGD. El cuadro 4 indica que esa franja representa un 18,6% de toda el área de la subcuenca. Anteriormente se mencionó que el uso agrícola en toda la subcuenca representa un 2,6%; sin embargo, debe notarse que no toda la zona costera está dedicada al uso agrícola, pero tiene el potencial de llegar a estarlo.

El uso agrícola del suelo repercute de manera negativa en la calidad de los ríos, principalmente si el cultivo es de tipo perecedero, como ocurre con la siembra de arroz.

Se utilizaron dos modelos de predicción de la calidad del agua, desarrollados por Calvo-Brenes (2013). La conveniencia de usar ambos modelos radica en que varían en cuanto al tipo de variables que los conforman, por lo que proporcionan un mayor nivel de confianza.

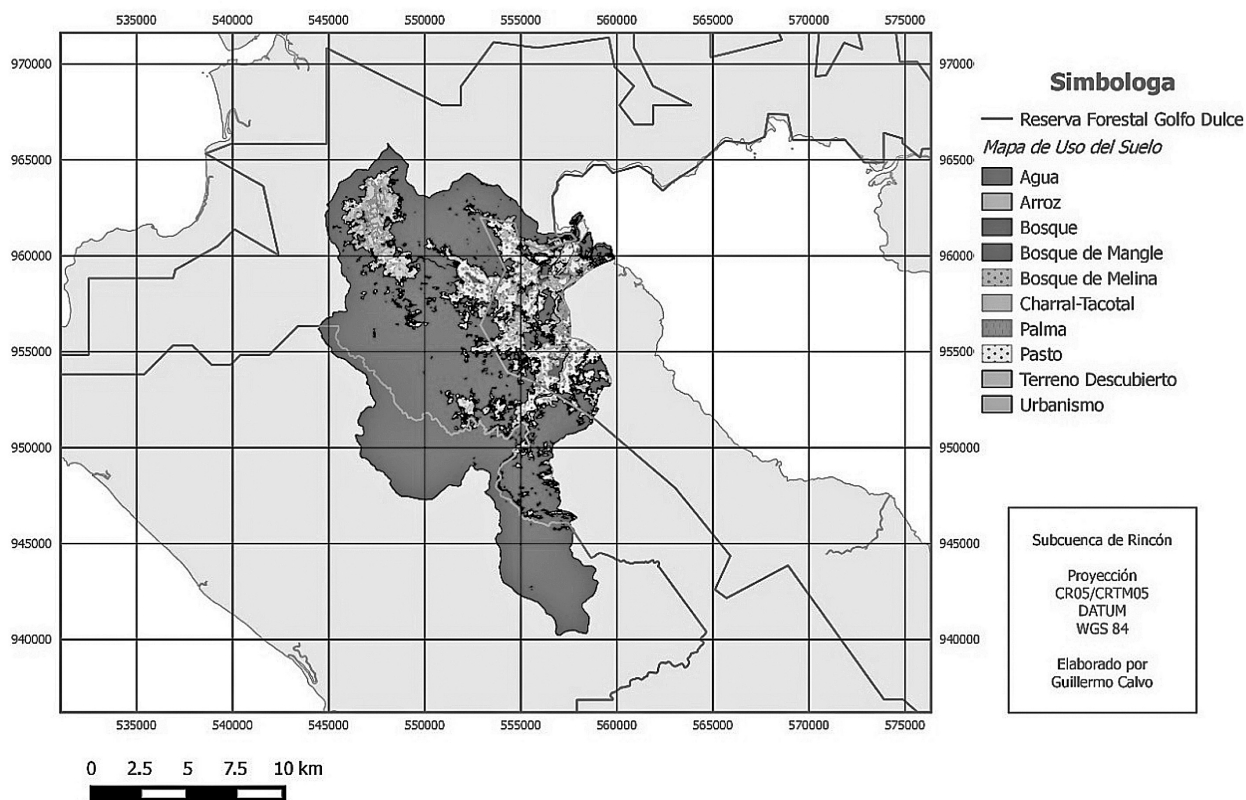


Figura 6. Usos del suelo en la subcuenca del río Rincón y su ubicación dentro de la RFGD

Cuadro 4. Distribución porcentual de las franjas dentro de la subcuenca del río Rincón

Zona	Área (km ²)	Relación (%)
Subcuenca Rincón	214,0	100,0
Franja de parque	50,8	23,7
Franja de RFGD	123,4	57,7
Franja costera	39,8	18,6

El cuadro 5 muestra el efecto que causan en la calidad del agua los cambios en las variables socioambientales. Hay variables ambientales pasivas que no pueden modificarse, como la

textura del suelo. Por otra parte, las variables activas, tales como la densidad poblacional o el uso del suelo, sí se pueden modificar.

El cuadro 5 muestra una primera fila denominada *Predicción del ICA*, que tiene un valor de 100% utilizando los dos modelos de predicción. El valor promedio de la calidad del agua real fue de 85,4%, por lo que se encuentra dentro del rango de variabilidad del modelo. Por otra parte, es conveniente efectuar un ajuste en los modelos predictores para que los valores predichos se encuentren lo más cerca posible del valor real para mejorar el carácter predictivo de los modelos y disminuir así el error. La fila *Ajuste del ICA* muestra valores de 85,2 y 85,4%, respectivamente, para los dos modelos una vez efectuados esos ajustes. Este ajuste efectuado no afecta la relación multivariable del ICA con respecto a las variables socioambientales (ver Calvo-Brenes, 2013 para mayores detalles del modelo predictor). Por otra parte, al efectuar este ajuste se logra un mejor ajuste del modelo de predicción. El resto de las filas se refiere a cambios realizados en cada variable indicada, manteniendo el resto sin modificaciones y mostrar así distintos escenarios y su efecto predicho en el ICA.

Cuadro 5. Escenarios creados con la herramienta de predicción

Condición	Índice de Calidad		
	Modelo 1	Modelo 2	Condición
Predicción del ICA	100	100	
Ajuste del ICA	85,2	85,4	
Población			
+ 1000 personas	82,6	81,8	X
+ 5000 personas	72,3	67,4	X
Charral-tacotal			
(5.6 a 25) %	85,2	109,5	√
Pasto			
(13.6 a 25) %	91,7	85,4	√
Cultivos permanentes			
(0.6 a 25) %	85,2	80,9	√ X

Nota: X representa un decrecimiento en la calidad del agua.

√ representa una mejora de la calidad del agua o que no cambia.

El cuadro 5 muestra que un incremento de la densidad poblacional de 0 a 1000 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km²) provoca una disminución en la calidad de 2,6 a 3,6 puntos porcentuales en el ICA; aún así, la clasificación del agua sigue siendo Clase 2. Un caso diferente es el aumento en la densidad poblacional hasta 5000 hab/km², donde el ICA cae hasta un 67,4%, situando la calidad en Clase 3.

La presencia de Charral-tacotal no causa un efecto de deterioro en la calidad del agua y lo mismo se percibe con el uso del suelo para Pasto. En el primer caso, se evaluó un incremento

del uso del suelo como Charral-tacotal de un 5,6% (situación actual) hasta un 25%. En el segundo caso, se valoró el cambio del Pasto de un 13,6 % (situación actual) hasta un 25%.

El análisis del incremento en el uso del suelo para actividades agrícolas de un 0,6% (situación actual) hasta un 25% muestra un deterioro de la calidad del agua hasta un valor de 80,9% (modelo 2), condición cercana al límite de la Clase 2 (80%).

Conclusiones

El incremento poblacional de animales que pueda darse en la zona de estudio repercute negativamente en la calidad del agua. Esta es una condición deseable en la zona; sin embargo, tiene un efecto negativo en la calidad de los ríos que afecta el uso del líquido como Clase 2 y, por tanto, debe ser contemplado como parte del contexto de la calidad de las aguas.

El incremento en Charral-tacotal o Pasto parece no afectar la calidad del agua, por lo que no debe ser motivo de preocupación. El uso de pastizales acompañados con presencia de árboles es una práctica que trae beneficios ambientales que están bien documentados. Sin embargo, está demostrado que el mejor uso del suelo es como bosque, por los beneficios que representa para el medio.

El incremento de las siembras permanentes afecta de manera negativa la calidad del agua, por lo que esta actividad debe ser monitoreada. No se comprobó el efecto de las siembras estacionales por medio de los modelos, pero se sabe que también afectan negativamente la calidad del agua, aún más que los cultivos permanentes.

El incremento en cualquiera de los usos del suelo implica la disminución del bosque, lo que repercute negativamente en la zona.

La franja costera representa un área de un 19% de la totalidad de la subcuenca Rincón. En la actualidad, esta franja tiene un uso reducido en actividades agrícolas. Sin embargo, existe el riesgo de que esta zona pueda llegar a utilizarse en actividades agrícolas en su totalidad por estar fuera del control del SINAC. Este uso agrícola podría alcanzar la cifra del 19%, valor que debe sumarse al de las actividades agrícolas que se realizan dentro de la RFGD. Esta condición puede llevar la calidad del agua al límite de la Clase 2 e incluso provocar que su calidad corresponda a una categoría menor.

Recomendaciones

Se recomienda que el SINAC continúe con la compra de terrenos en la RFGD en su totalidad y que el uso sea para bosque, de tal manera que se contrarresten los cambios que se den posteriormente en la franja costera y que afecten de manera negativa la calidad de las aguas.

En aquellos casos en los que no se logre comprar ciertos terrenos dentro de la RFGD, el SINAC debe promover que su uso no sea destinado a actividades agrícolas.

Las diferentes instituciones que operan en la zona deben promover un uso agrícola integral en el que prevalezca el uso de buenas prácticas agrícolas, con el fin de minimizar los impactos negativos sobre el ambiente y, por ende, sobre la calidad de las aguas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico de Costa Rica, y en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, por su apoyo financiero y administrativo. A la Fundación Neotrópica, por el apoyo logístico brindado a este proyecto durante las giras para realizar los muestreos.

Además, al Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y al Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), por su gran respaldo al proyecto.

También hacemos extensivo nuestro agradecimiento al personal del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y la Reserva Forestal Golfo Dulce (RFGD), en especial al Ing. Antonio Orozco Barrantes, por el apoyo logístico para la ejecución de este proyecto en la Península de Osa así como a su personal encargado de la recolección de muestras de suelo de la zona de estudio para el análisis de textura.

Bibliografía

- Aparicio, J.F. (2009). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, DF.: Editorial LIMUSA.
- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Barrantes, G. (2005). Disponibilidad del recurso hídrico. En *XI Informe del Estado de la Nación*. Obtenido de <http://www.estadonacion.or.cr/index.php/biblioteca-virtual/costa-rica/estado-de-la-nacion/ponencias/700-informe-xi-disponibilidad-del-recurso-hidrico>. (11/11/11).
- Broadbent, E. (2015). *INOGO: iniciativa Osa y Golfito. A program of the Stanford Woods Institute for the Environment*. Obtenido de <http://inogo.stanford.edu/resources/INOGOMapas?language=en>
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007a). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del Río Tárcoles y el Reventazón. Parte II: Modelo utilizado en la medición de caudales investigados. *Tecnología en Marcha*, 20(3), 3-11.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007b). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del Río Tárcoles y el Reventazón. Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración. *Tecnología en Marcha*, 20(4), 59-67.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2007c). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. Parte I: Análisis de la contaminación de cuatro ríos del área metropolitana. *Tecnología en Marcha*, 20(2), 3-9.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2012^a). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología en Marcha*, 25(5), 37-44.
- Calvo-Brenes, G. & Mora-Molina, J. (2012^b). Contaminación fecal en varios ríos del Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 25(4), 33-39.
- Calvo-Brenes, G. (2013). Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 26(2).
- Chavarría, A.E. (2010). *Manual de laboratorio de edafología*. Cartago, C.R.: Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- FAO. (2011). *La FAO lanza campaña para prevenir las enfermedades de transmisión alimentaria*. Obtenido de <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/12574-la-fao-lanza-campana-prevenir-las-enfermedades-trasmision-alimentaria>.
- Hernández, A. (2010). *Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión-sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica*. Tesis de Doctorado. Programa de estudios de doctorado en ciencias naturales para el desarrollo. ITCR-UNED-UCR. Obtenido de <http://www.posgrado.una.ac.cr/index.php/menu-tesis/43-doctorado/ciencias-naturales-para-el-desarrollo/enfasis-en-gestion-y-cultura-ambiental/775-geomorfologia-uso-de-la-tierra-y-dinamica-erosion-sedimentacion-como-aspectos-claves-para-iniciar-la-gestion-ambiental-en-la-cuenca-hidrografica-del-rio-nosara-guanacaste-costa-rica>
- MINAE. (septiembre, 2007). *Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. No 33903 MINAE-S. La Gaceta No. 178*.
- Novo, M. (2006). *El desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa*. 2 ed. Madrid: Pearson & Prentice Hall.
- Ramírez, J.M. (2003). *Calidad de Aguas Residuales en los sistemas de depuración operados y administrados por AyA y estudios especiales de interés institucional*. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Informe anual, San José.

Comparación interlaboratorial de multímetros 2014

2014 Digital Multimeter Interlaboratory Comparison

Róger Meléndez-Poltronieri¹, Isabel Castro-Blanco²,
Harold Sánchez-Vargas³

Fecha de recepción: 2 de setiembre de 2015

Fecha de aprobación: 15 de enero de 2016

Meléndez-Poltronieri, R; Castro-Blanco, I; Sánchez-Vargas, H. Comparación interlaboratorial de multímetros 2014. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 30-46.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2886

- 1 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas - Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo Electrónico: rmelendezpo@ice.go.cr
- 2 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas - Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: bcastro@ice.go.cr
- 3 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas - Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. Correo electrónico: hsanchez@ice.go.cr



Palabras clave

Multímetros; comparación interlaboratorial; patrón viajero; calibración.

Resumen

Los multímetros digitales se utilizan para numerosas aplicaciones y están entre los dispositivos más comunes calibrados por laboratorios de metrología. Las calibraciones de multímetros suelen realizarlas tanto los laboratorios secundarios como los estatales o privados. Es muy común que los institutos nacionales de metrología a menudo acepten multímetros digitales de precisión para la calibración con patrones de trabajo nacionales.

En este trabajo se describen y presentan los resultados de una comparación de multímetros entre laboratorios que se llevó a cabo en Costa Rica, entre marzo y noviembre de 2014, por el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas del Instituto Costarricense de Electricidad, en su rol de Instituto Metrológico Nacional designado en este país para las áreas de Electricidad, Magnetismo, Tiempo y Frecuencia. En la comparación participaron diez laboratorios e involucró la rotación de un multímetro como patrón viajero.

Keywords

Digital multimeter; interlaboratory comparison; travel standard; calibration.

Abstract

Digital Multimeters are used for numerous applications and are among the most common devices calibrated by metrology laboratories. Their calibrations are typically carried out by secondary laboratories, as well as state or private laboratories. In small countries, the national metrology institute often accepts digital multimeters for calibration with the national standard.

This paper presents and describes the results of a multimeter comparison conducted in Costa Rica, from march 2014 until november 2014, by the Instituto Costarricense de Electricidad - Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas as a designated National Metrology Institute in Costa Rica for Electricity, Magnetism, Time and Frequency. The comparison involved ten participating laboratories and one digital multimeter (travelling standard).

Introducción

La comparación de multímetros digitales (DMM) se realiza con el propósito de comparar las capacidades de medición de los laboratorios que ofrecen calibraciones de multímetros a sus clientes, o las utilizan en sus procesos para mejorar sus métodos de calibración. Además, amplía la colaboración metrológica que ha existido recientemente entre los laboratorios que hacen calibraciones en variables de corriente directa y baja frecuencia y el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE).

El nivel de experiencia de los laboratorios participantes era muy variado. Algunos realizan calibraciones de manera rutinaria, mientras que otros no tenían experiencia previa, y en esta oportunidad calibraron un multímetro por primera vez. Por esta razón, a cada participante se le permitió seleccionar su propio método de calibración, basado en la instrumentación y la experiencia disponibles. Cada participante también fue responsable de realizar su propia

estimación de la incertidumbre de medición, utilizando métodos coincidentes con los descritos en la Guía para la Incertidumbre de la Medición (GUM) [1] [2].

El LMVE fue el laboratorio piloto para la comparación. El cuadro 1 muestra los laboratorios participantes y los contactos técnicos.

Cuadro 1. Laboratorios participantes y contactos ofrecidos

Laboratorio	Persona de contacto	Teléfono
ICE - LACAME	William Bonilla Martín	(+506) 2001-5962
SCM Metrología y Laboratorios, S.A.	Helber Meneses	(+506) 2431-5252
ICE - Laboratorio de Metrología LAMETRO	Johnny Jiménez	(+506) 2247-8169
MET-CAL Engineering Services S.A.	Montgomery Miralles	(+506) 2286-4286
ELVATRON	Oscar Sibaja	(+506) 2242 9960 ext. 315
A1 Calibration Laboratory S.A.	Ricardo Salazar	(+506) 2440-4010
Calibraciones de América CAMERICA S.A.	Luis Abarca	(+506) 2280-2886
ICE - LACVE	Jairo Garita	(+506) 2501-1045
ETESAL S.A.	Yancy Cruz	(+503) 2507-6856
ICE - LEE	Heyleen Villalta	(+506) 2000-4128

Programación y logística de la comparación

Para la circulación del multímetro patrón se propuso un circuito de traslado adecuado entre los laboratorios participantes y el laboratorio piloto, que consistió en las mediciones intermedias del LMVE tras la medición de dos participantes, con el fin de obtener una verificación del valor del patrón de manera periódica tras la movilización a lo largo de la ronda de la comparación.

Como parte del tiempo de medición, se consideraron el tiempo requerido para la estabilización y mediciones en cada laboratorio, así como el tiempo para el transporte adecuado. Los participantes cumplieron con la agenda acordada, de manera que los tiempos estimados se consideran adecuados para el ejercicio en cuestión.

El cuadro 2 muestra la programación de mediciones, en la que se puede ver que el LMVE efectuó sus mediciones también al inicio y al final de la comparación.

El programa se completó en el plazo esperado. Las características metrológicas del multímetro patrón viajero se mantuvieron estables durante este período, lo que permite establecer una comparación válida.

Cuadro 2. Programa de mediciones

Laboratorio	Fecha de medición	Fecha de transporte
LMVE	2014-03-17 a 2014-07-17	2014-07-18
ELVATRON	2014-07-21 a 2014-07-24	2014-07-28
ICE - LACAME	2014-07-29 a 2014-08-01	2014-08-04
LMVE	2014-08-04 a 2014-08-07	2014-08-08
ICE- LAMETRO	2014-08-11 a 2014-08-14	2014-08-18
ICE -LACVE	2014-08-19 a 2014-08-22	2014-08-25
LMVE	2014-08-25 a 2014-08-28	2014-08-29
CAMERICA	2014-09-01 a 2014-09-04	2014-09-05
MET-CAL	2014-09-08 a 2014-09-11	2014-09-12
LMVE	2014-09-16 a 2014-09-19	2014-09-22
SCM	2014-09-23 a 2014-09-26	2014-09-29
A1	2014-09-30 a 2014-10-03	2014-10-06
LMVE	2014-10-06 a 2014-10-07	2014-10-07
ICE - LEE	2014-11-07 a 2014-11-10	2014-11-10
LMVE	2014-11-10 a 2014-11-13	2014-11-14
ETESAL	2014-10-13 a 2014-10-23 (incluye traslado Costa Rica-El Salvador)	2014-10-24
LMVE	2014-10-27 a 2014-11-06	2014-11-07
LMVE	2014-11-17	-

Mensurando

El mensurando se definió como el porcentaje de error del valor medido por el patrón viajero de la comparación [3], en función del valor aplicado por el patrón de cada participante; según se muestra en la ecuación 1:

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor}_{\text{medido}} - \text{Valor}_{\text{aplicado}}}{\text{Valor}_{\text{aplicado}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Multímetro patrón viajero

El patrón viajero que se utilizó corresponde a un multímetro digital marca Fluke, modelo 8808 A, número de serie 9545125, identificación CSTA-0017, código I-5055, con una resolución de 5.5 dígitos, pantalla de doble modo de visualización y precisión base para tensión eléctrica dc de 0,015% (fig 1). El ICE-LMVE mantiene un historial de la estabilidad del patrón viajero en todos los puntos de la comparación.

Nota: El uso de este equipo por parte del ICE-LMVE no implica ningún aval comercial del LMVE para esta marca y modelo.



Figura 1. Multímetro digital utilizado como patrón viajero

El multímetro viajó en una caja de protección Fluke destinada para su traslado. Cada participante usó sus procedimientos normales para el transporte y entrega del equipo.



Figura 2. Multímetro en la caja utilizada para el transporte

El LMVE usó el método de calibración por comparación directa del valor generado por el patrón (calibrador multifunción) y el valor medido por el multímetro patrón viajero.

Las mediciones realizadas por el laboratorio piloto corresponden al porcentaje de error del valor medido por el multímetro patrón viajero, relativas a los valores generados por el patrón (calibrador multifunción). Las mediciones corresponden a promedios de 10 lecturas que se realizaron cada segundo. Este método de calibración está respaldado por el alcance de

acreditación vigente del LMVE ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) [4]. La mayor contribución a la incertidumbre de la medición por el LMVE corresponde, en la mayoría de los casos, al componente por resolución del objeto bajo prueba (patrón viajero). El cuadro 3 muestra los resultados de calibración del multímetro patrón.

Cuadro 3. Resultados de calibración inicial y final del multímetro patrón

P. No.	Función	Escala Objeto Bajo Prueba	Valor gen. por el patrón	Var. Indep.	Calibración inicial				Calibración final			
					Error del Objeto Bajo Prueba	Unid	Incert.	Factor de Cobertura (k)	Error del Objeto Bajo Prueba	Unid	Incert.	Factor de Cobertura (k)
1	Tensión Eléctrica Directa	2 V	1	N/A	0.001 09	%	0.000 83	2.01	0.001 09	%	0.000 83	2.01
2		20 V	10	N/A	-0.000 88	%	0.000 70	2.01	-0.000 78	%	0.000 73	2.01
3	Tensión Eléctrica Alterna	2 V	1	60 Hz	0.020 0	%	0.008 1	2.01	0.019 1	%	0.008 1	2.01
4		2 V	1	1 kHz	-0.004 4	%	0.006 8	2.01	-0.004 5	%	0.006 8	2.01
5		200 V	100	60 Hz	-0.024 0	%	0.006 3	2.01	-0.048 2	%	0.006 3	2.01
6		200 V	100	1 kHz	-0.040 1	%	0.007 2	2.01	-0.065 0	%	0.007 2	2.01
7	Corriente Eléctrica Directa	20 mA	10	N/A	-0.011	%	0.010	2.00	-0.008	%	0.010	2.00
8		2 A	1	N/A	0.007	%	0.010	2.01	0.008	%	0.010	2.01
9	Corriente Eléctrica Alterna	20 mA	10	60 Hz	-0.004	%	0.017	2.01	-0.007	%	0.017	2.01
10		20 mA	10	1 kHz	-0.013	%	0.016	2.01	-0.014	%	0.016	2.01
11		2 A	1	60 Hz	0.020	%	0.031	2.01	0.016	%	0.031	2.01
12		2 A	1	1 kHz	0.009	%	0.031	2.01	0.007	%	0.031	2.01
13	Resist. Eléctrica	200 Ω	10	N/A	0.019 8	%	0.006 6	2.01	0.023 8	%	0.007 0	2.02
14		20 kΩ	10	N/A	-0.000 7	%	0.001 1	2.01	-0.001 3	%	0.001 1	2.01
15		20 MΩ	10	N/A	-0.017 9	%	0.004 2	2.01	-0.025 6	%	0.004 2	2.01

En el cuadro 3 se muestran datos puntuales para una calibración del LMVE al inicio de la comparación y otra al final de esta. Sin embargo, para el cálculo del valor de referencia en cada punto, el LMVE utilizó el promedio de las mediciones realizadas a lo largo de la comparación de multímetros. Los valores de referencia del LMVE están respaldados por calibraciones de sus patrones realizadas por institutos metrológicos nacionales y la participación en comparaciones internacionales del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) [5], [6], [7], [8], [9].

Formato de presentación de datos y descripción de los métodos de calibración

A los participantes se les pidió presentar sus resultados utilizando el formulario que se muestra en los cuadros 4 y 5. No todos siguieron el formato y esto hizo que se omitiera alguna información. Sin embargo, la información recolectada de cada participante fue suficiente para establecer una base para la comparación.

Cuadro 4. Formulario para entrega de resultados

Fecha de la calibración		
Fecha de inicio	aaaa-mm-dd hh:mm:ss	
Fecha de finalización	aaaa-mm-dd hh:mm:ss	
Configuración de la calibración		
Responsable de la toma de datos		
Patrón utilizado		
Trazabilidad		
Método utilizado		
Condiciones ambientales		
Temperatura máxima		°C
Temperatura mínima		
Humedad máxima		%
Humedad mínima		

Cada laboratorio seleccionó su método de calibración. A continuación, se describen brevemente los diferentes métodos que existen para la calibración de multímetros digitales.

Método Comparación Directa

Este es el método que se utiliza más comúnmente para calibrar multímetros digitales. Con él, se comparan directa e instantáneamente los valores proporcionados por el instrumento de medición (patrón viajero) con los valores proporcionados por un patrón (el de cada laboratorio).

Método de Calibración por Transferencia

Este procedimiento es la base de otros métodos de calibración, entre los cuales están: diferencial, relación y sustitución. En el método de calibración por transferencia se comparan los valores proporcionados por el instrumento de medición sujeto a calibración, con los valores suministrados por un patrón (valor de referencia), a través de un patrón de transferencia, incluso en diferente tiempo y lugar.

El método de calibración por transferencia incluye las mismas pruebas que los otros procedimientos, dado que las pruebas están destinadas a determinar las diferentes características metrológicas del instrumento de medición sujeto a calibración. La ventaja de este método es que no requiere forzosamente estabilidad en el sistema o mensurando, dado

que con la secuencia de toma de datos y el cálculo de los errores se puede eliminar la deriva a corto plazo, que es un componente inevitable cuando las mediciones no se realizan al mismo tiempo o en forma instantánea.

Cuadro 5. Resultado de la calibración

Punto No.	Función	Escala Objeto Bajo Prueba	Valor generado por el patrón	Variable Independiente	Error del Objeto Bajo Prueba	Unidades*	Incertidumbre	Factor de Cobertura (k)
1	Tensión Eléctrica Directa	2 V	1	N/A		%		
2		20 V	10	N/A		%		
3	Tensión Eléctrica Alterna	2 V	1	60 Hz		%		
4		2 V	1	1 kHz		%		
5		200 V	100	60 Hz		%		
6		200 V	100	1 kHz		%		
7	Corriente Eléctrica Directa	20 mA	10	N/A		%		
8		2 A	1	N/A		%		
9	Corriente Eléctrica Alterna	20 mA	10	60 Hz		%		
10		20 mA	10	1 kHz		%		
11		2 A	1	60 Hz		%		
12		2 A	1	1 kHz		%		
13	Resistencia Eléctrica	200 Ω	10	N/A		%		
14		20 kΩ	10	N/A		%		
15		20 MΩ	10	N/A		%		

* El error del Objeto Bajo Prueba y la Incertidumbre se presentan en las unidades indicadas en la columna "Unidades".

Resultado de mediciones

Los resultados de la medición y la incertidumbre estimada por cada participante se muestran en el cuadro 6.

Como se ha indicado anteriormente, cada participante fue responsable de proveer su propia estimación de la incertidumbre de la medición, pero el formulario de presentación (cuadro 4) no les exigía incluir el análisis de la incertidumbre total. El análisis o cálculo de incertidumbre no se incluye en este informe, sin embargo, la mayoría de los laboratorios utiliza el método de suma de la raíz de los cuadrados de cada componente de incertidumbre [10]:

$$U = k\sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (2)$$

donde:

k = es el factor de cobertura (2 en todos los casos), es el cuadrado de la incertidumbre evaluada Tipo A (debida a la variabilidad de las mediciones) y es el cuadrado de la incertidumbre evaluada Tipo B (otras componentes).

Hay considerables variaciones en algunos de los resultados de las mediciones reportadas por los diversos laboratorios, como puede verse en las Gráficas de Resultados de los Participantes para cada valor medido (figuras 3 a 17).

Cuadro 6. Resultados de los participantes en μ Unidad/Unidad*

Punto No.	LMVE		L-01		L-02		L-03		L-04		L-05		L-06		L-07		L-08		L-09		L-10	
	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u	e	u
1	11	8	4	13	70	120	30	130	53	41	10	12	0	48	6	15	-2	12	10	14	380	2100
2	1	7	-4	14	38	120	-80	140	19	53	-8	14	0	54	-14	16	-13	31	-16	15	100	298
3	196	81	180	200	460	680	290	810	572	295	190	160	180	340	160	220	180	163	140	210	0	250
4	-35	68	-10	200	150	680	26	810	47	1387	10	160	-30	340	-40	210	-46	163	-51	210	-	-
5	-343	63	-250	410	-340	530	-510	700	-182	279	-370	160	-470	482	-380	220	-380	163	-490	210	280	95
6	-491	72	-430	410	-530	540	-680	700	-440	467	-530	160	-540	477	-510	220	-587	163	-670	210	-	-
7	-77	102	-10	110	48	270	96	320	-138	113	-6	97	40	592	70	130	-1	465	-2	130	-1780	135
8	84	95	100	7600	150	830	200	860	82	1126	96	190	70	280	130	260	197	4264	86	240	-140	300
9	-18	166	130	890	-150	1200	110	2700	-438	1037	160	470	60	959	260	620	158	2636	69	600	460	100
10	-81	164	90	890	-100	1200	140	2700	-457	3050	140	470	180	959	170	160	96	2636	77	600	-	-
11	211	306	300	9200	260	1700	510	2000	502	2405	300	470	200	1150	380	330	393	6202	240	600	580	92
12	118	306	100	9200	-210	17	140	2000	32	8314	280	470	130	1150	190	330	315	6202	240	600	-	-
13	248	68	86	71	-2800	1400	300	1500	5207	89	140	140	-50	1505	0	74	-240	162	-10	160	-	-
14	-4	11	-29	25	-60	320	-130	300	-46	13	-30	24	-10	124	-1	30	-32	25	1	31	-	-
15	-222	42	-230	300	-400	2000	-66	980	-627	104	-170	100	-310	530	-240	140	-314	107	-320	140	-	-

*e y u corresponden al error y la incertidumbre de cada participante en microunidades por unidad (μ Unidad/Unidad).

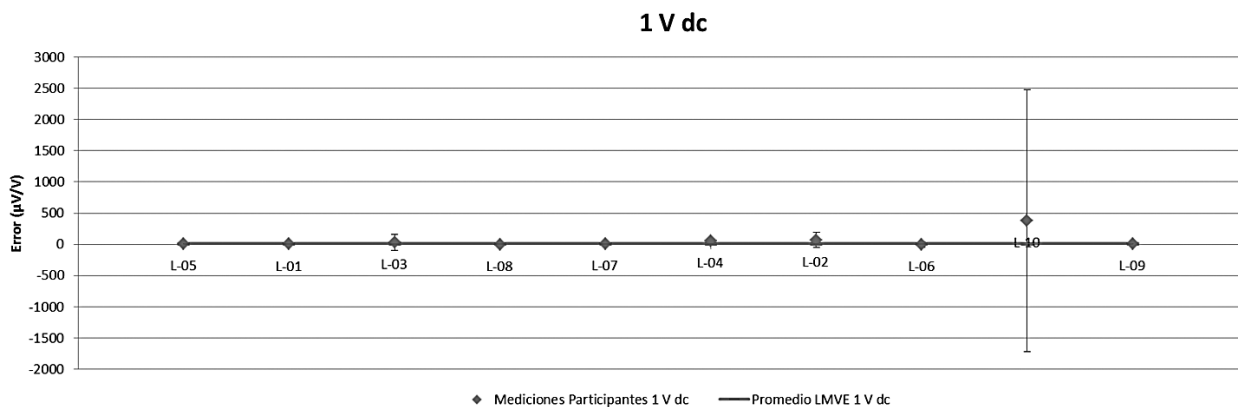


Figura 3. Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Directa 1 V

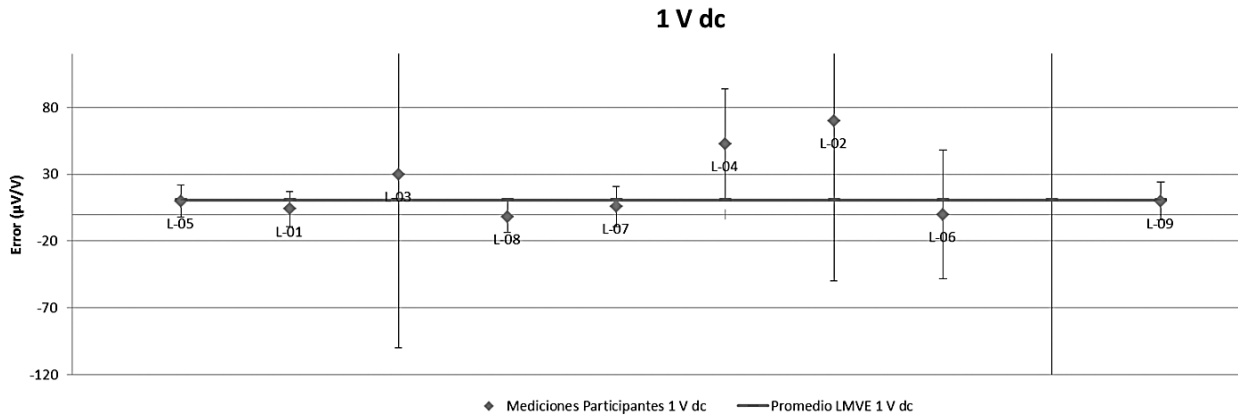


Figura 3.1 Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Directa 1 V

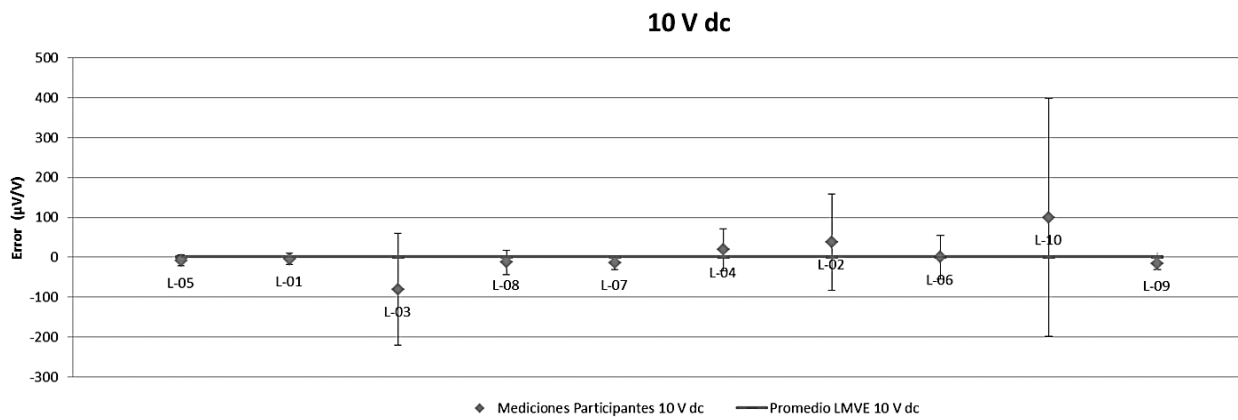


Figura 4. Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Directa 10 V

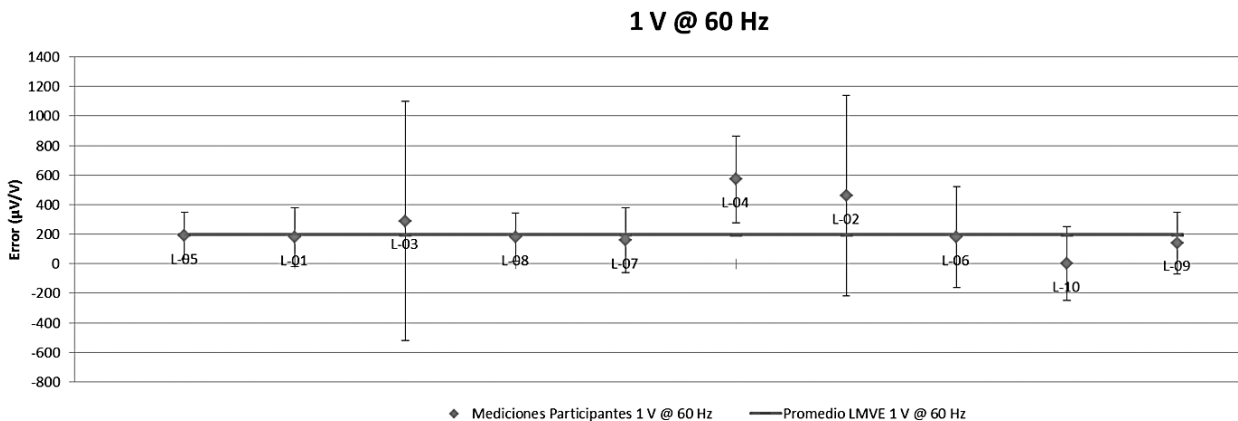


Figura 5. Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Alterna 1 V @ 60 Hz

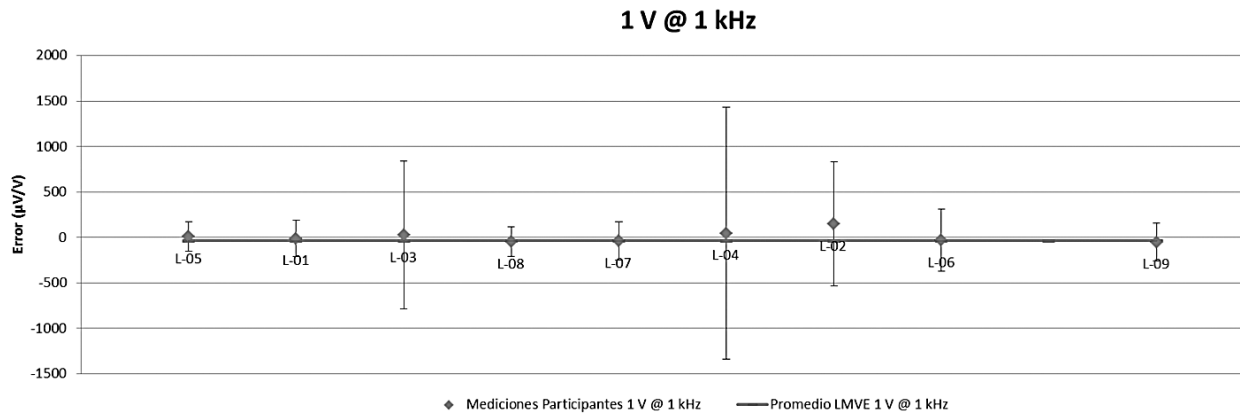


Figura 6. Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Alterna 1 V @ 1 kHz

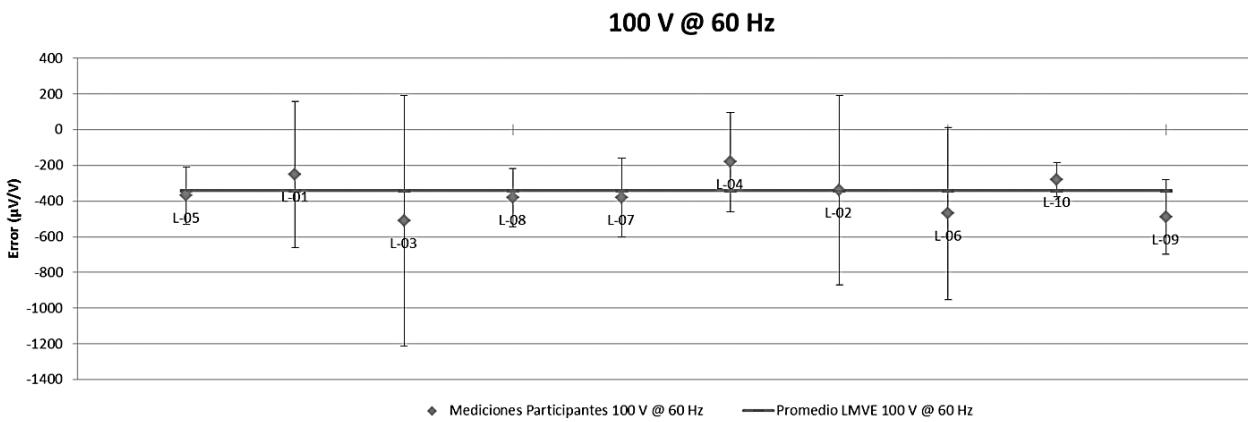


Figura 7. Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Alterna 100 V @ 60 Hz

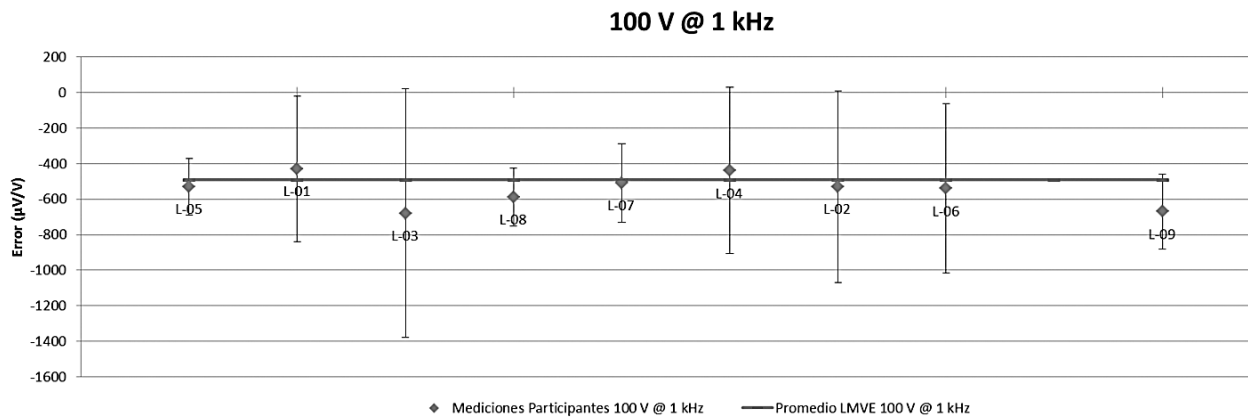


Figura 8. Resultados de los participantes en Tensión Eléctrica Alterna 100 V @ 1 kHz

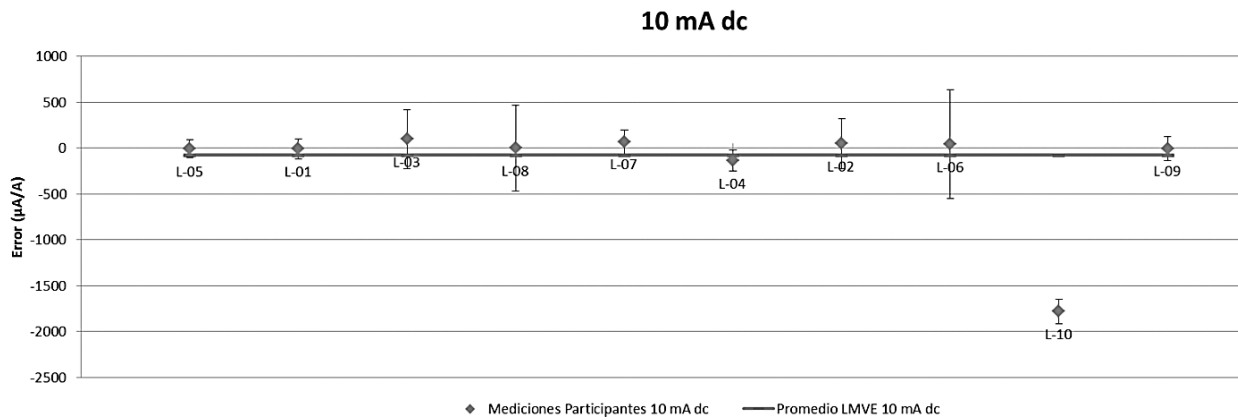


Figura 9. Resultados de los participantes en Corriente Eléctrica Directa 10 mA

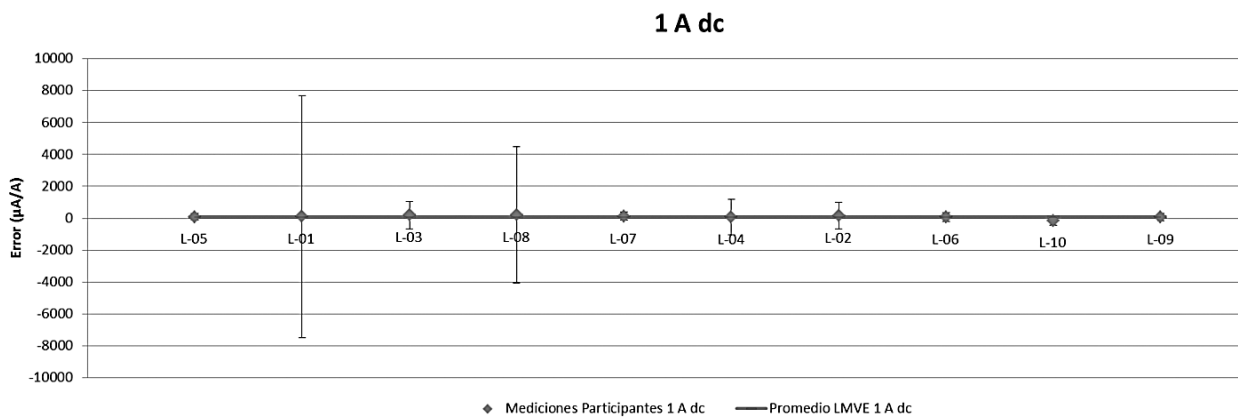


Figura 10. Resultados de los participantes en Corriente Eléctrica Directa 1 A

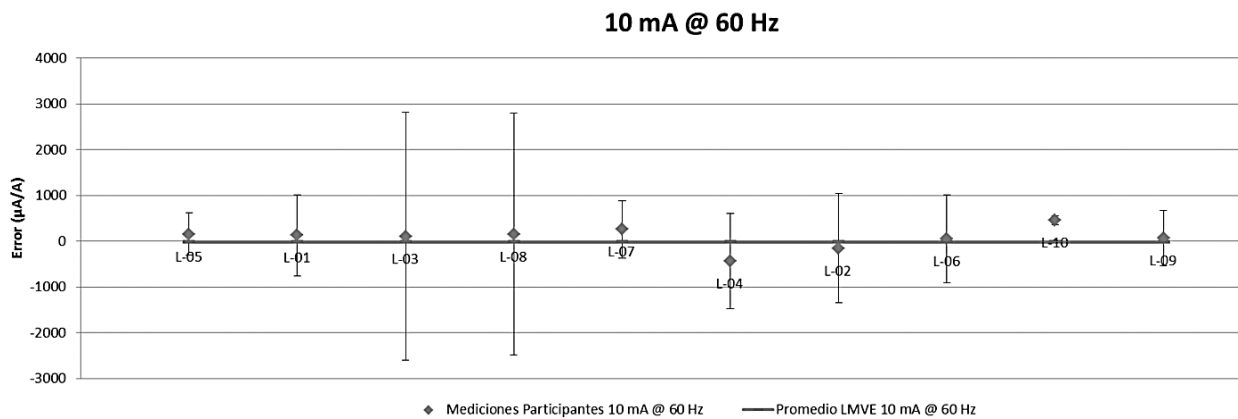


Figura 11. Resultados de los participantes en Corriente Eléctrica Alterna 10 mA @ 60 Hz

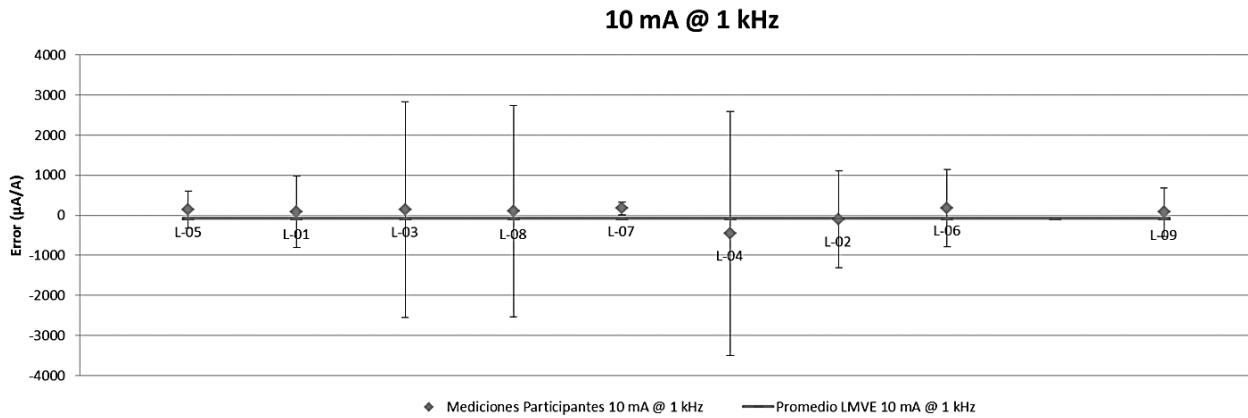


Figura 12. Resultados de los participantes en Corriente Eléctrica Alterna 10 mA @ 1 kHz

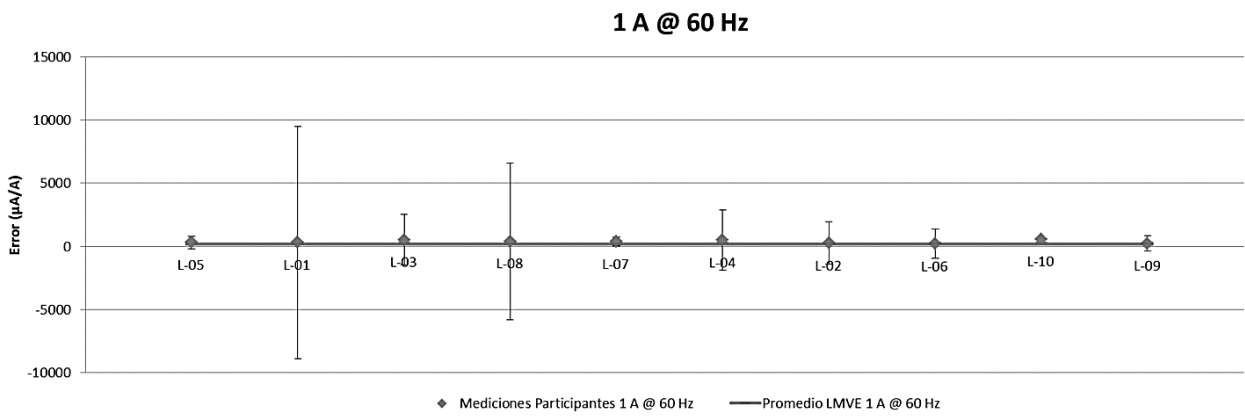


Figura 13. Resultados de los participantes en Corriente Eléctrica Alterna 1 A @ 60 Hz

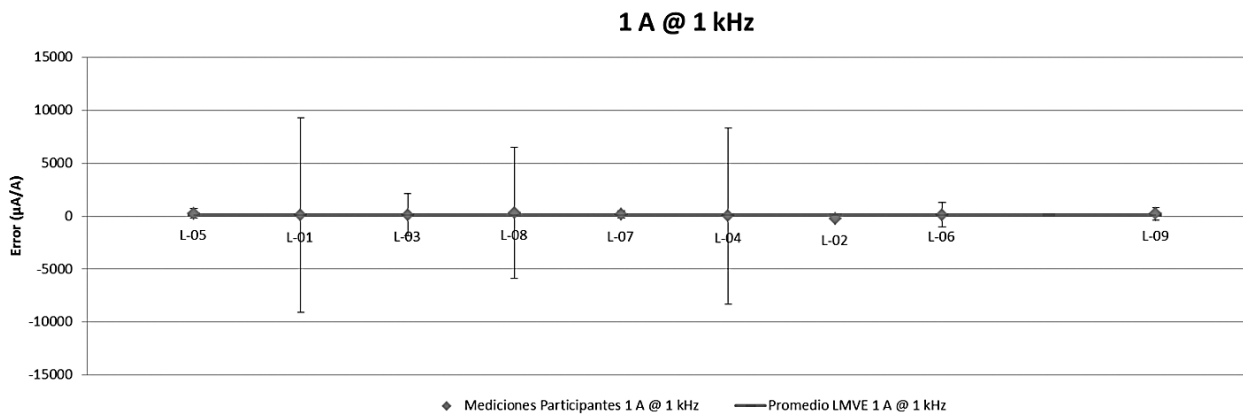


Figura 14. Resultados de los participantes en Corriente Eléctrica Alterna 1 A @ 1 kHz

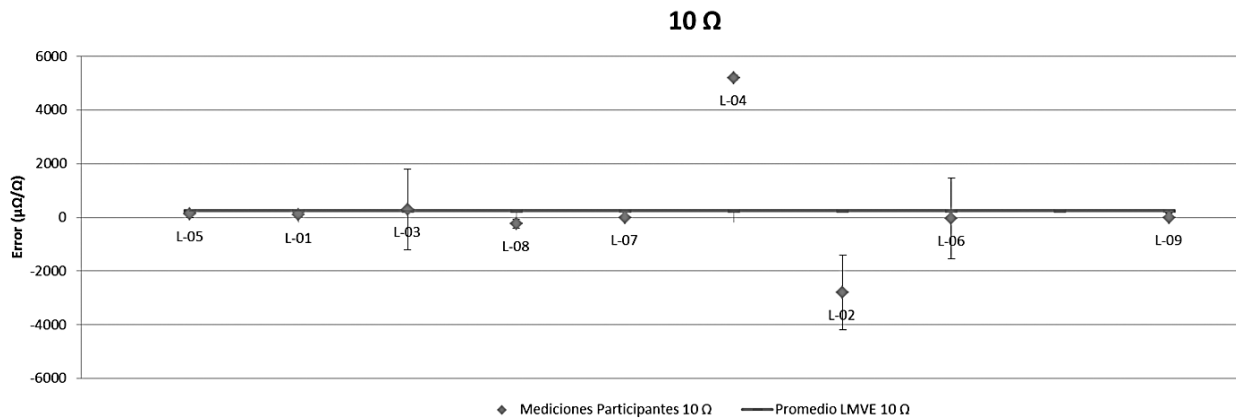


Figura 15. Resultados de los participantes en Resistencia Eléctrica 10 Ω

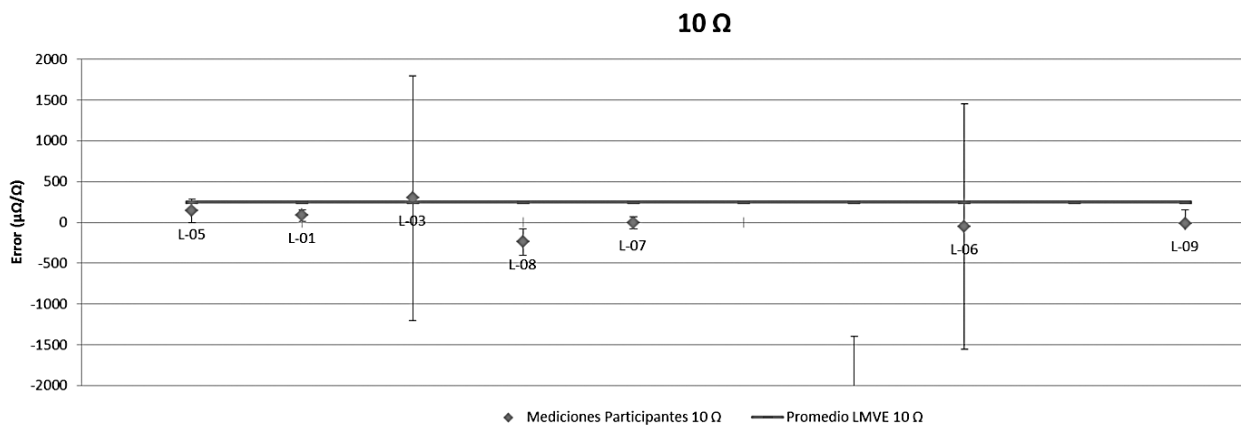


Figura 15.1 Resultados de los participantes en Resistencia Eléctrica 10 Ω

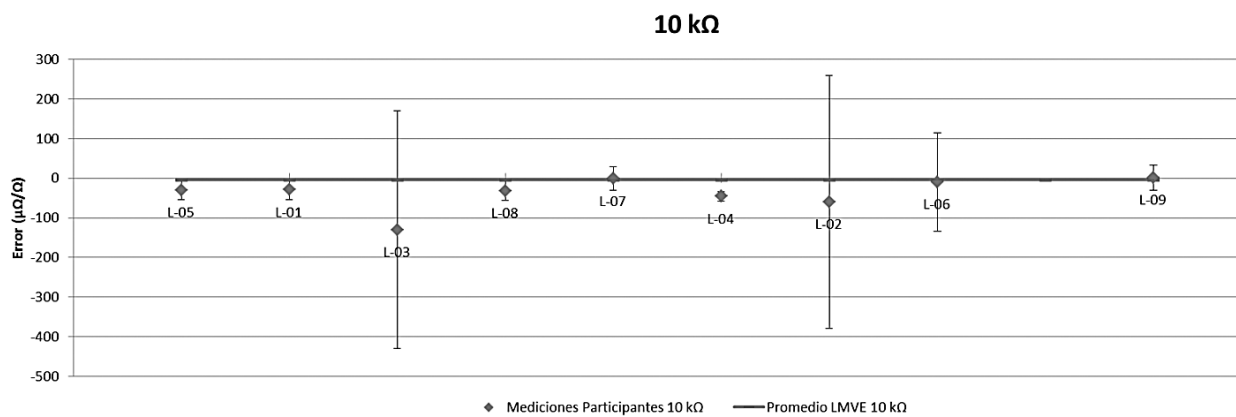


Figura 16. Resultados de los participantes en Resistencia Eléctrica 10 kΩ

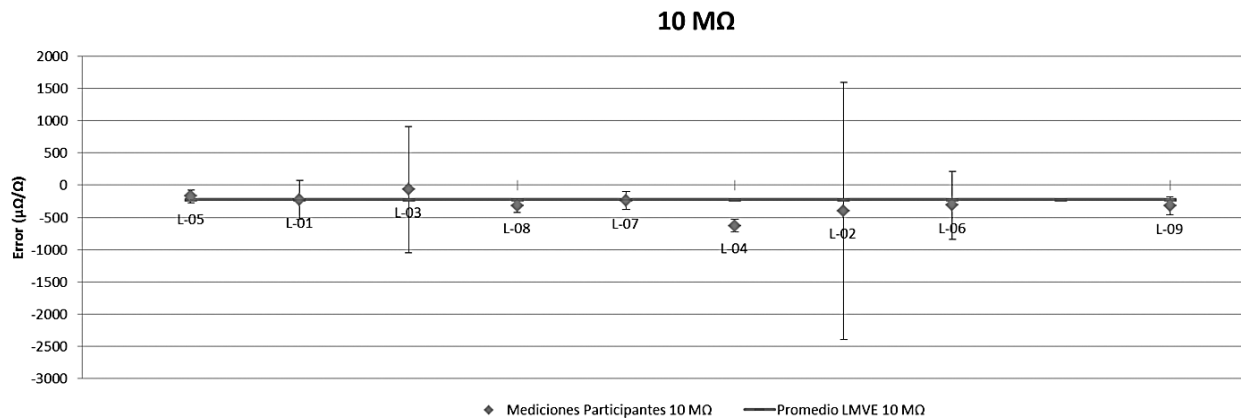


Figura 17. Resultados de los participantes en Resistencia Eléctrica 10 MΩ

Cuadro 7. Valores de Error Normalizado

16Punto 17No.	Error Normalizado									
	L-01	L-02	L-03	L-04	L-05	L-06	L-07	L-08	L-09	L-010
1	0.45	0.49	0.15	1.00	0.06	0.22	0.29	0.89	0.06	0.18
2	0.31	0.31	0.58	0.33	0.57	0.02	0.85	0.44	1.01	0.33
3	0.07	0.39	0.12	1.23	0.03	0.05	0.15	0.09	0.25	0.75
4	0.12	0.27	0.08	0.06	0.26	0.02	0.02	0.06	0.07	
5	0.22	0.01	0.24	0.56	0.16	0.26	0.16	0.21	0.67	0.55
6	0.15	0.07	0.27	0.11	0.22	0.10	0.08	0.54	0.81	
7	0.44	0.43	0.51	0.40	0.50	0.19	0.89	0.16	0.45	10.06
8	0.00	0.08	0.13	0.00	0.06	0.05	0.17	0.03	0.01	0.71
9	0.16	0.11	0.05	0.40	0.36	0.08	0.43	0.07	0.14	2.47
10	0.19	0.02	0.08	0.12	0.44	0.27	1.09	0.07	0.25	
11	0.01	0.03	0.15	0.12	0.16	0.01	0.38	0.03	0.04	1.16
12	0.00	1.07	0.01	0.01	0.29	0.01	0.16	0.03	0.18	
13	1.65	2.17	0.03	44.45	0.69	0.20	2.47	2.78	1.48	
14	0.93	0.18	0.42	2.53	1.00	0.05	0.09	1.05	0.15	
15	0.03	0.09	0.16	3.61	0.48	0.16	0.12	0.80	0.67	

Resumen y conclusiones

Durante el desarrollo del ejercicio de intercomparación, el patrón viajero no tuvo cambios evidentes (cambios de funcionamiento, corrimientos de valor), por lo que su comportamiento es adecuado para los fines de este ejercicio.

Para el análisis de resultados, los valores establecidos como referencia fueron los del LMVE, con las siguientes consideraciones:

- a. Se tomó la incertidumbre de cada punto como el promedio de las incertidumbres obtenidas por el LMVE a lo largo de toda la comparación.
- b. El promedio del error de las calibraciones realizadas por el LMVE se tomó como la referencia.

La evaluación del desempeño se estimó con base en el criterio del error normalizado (cuadro 7). Los valores absolutos de error normalizado menores o iguales a la unidad indican buena compatibilidad; los valores absolutos mayores a 1 indican que el sistema de medición del laboratorio requiere mejoras.

En total, cada laboratorio analizó 15 puntos y de los 10 laboratorios participantes solo tres obtuvieron todos los puntos con valor absoluto del error normalizado menor o igual a 1. De los valores superiores a 1, cinco laboratorios obtuvieron valores absolutos del error normalizado (en algunos puntos) muy cercanos a la unidad (ligeramente superior). Dos laboratorios obtuvieron en algunos puntos valores absolutos del error normalizado más alejados de 1 (superiores).

Se evidencia que los mayores valores para el error normalizado se obtuvieron en la función de resistencia eléctrica, específicamente para el valor de 10Ω .

Es evidente que existieron problemas de configuración del patrón utilizado para medir este valor. Existe una configuración adecuada y responde a acoples de impedancia entre algunos patrones (Fluke 5520 A) y el multímetro digital para valores de resistencia de bajo valor.

Todos los laboratorios hicieron la calibración utilizando el método por comparación directa. Para ciertos puntos, un laboratorio lo combinó con el método por transferencia. Además, algunos laboratorios dieron a conocer explícitamente que no hacen corrección del valor del error de su patrón.

Se considera que los resultados de este ejercicio de intercomparación son muy buenos para la red nacional de servicios de calibración de multímetros, ya que el 95% de los valores obtenidos en la comparación por los laboratorios participantes fue compatible con los valores de referencia.

La comparación mostró diferencias a considerar entre los participantes, para lo cual se debe tomar en cuenta que algunos laboratorios no tenían una amplia experiencia previa con calibraciones de multímetros digitales.

Se espera que en futuras comparaciones se dé un trabajo para mejorar las capacidades de calibración y medición de los participantes y fortalecer aún más la cooperación *entre los laboratorios*.

Bibliografía

- [1] Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008.
- [2] Fan-Zhang, N. (February, 2006). The uncertainty associated with the weighted mean of measurement data. *Metrologia*, 43, 195-204. Obtenido de <http://iopscience.iop.org/0026-1394/43/3/002>
- [3] CIPM. (March 1999). *Guidelines for CIPM key comparisons*. Obtenido de file:///C:/Users/romele1/Downloads/guidelines%20(1).pdf
- [4] Ente Costarricense de Acreditación, ECA. (2014) Obtenido de http://www.eca.or.cr/acr_lab.php?t=c.
- [5] Bennet, D., Laiz, H., Oldham, N., Ortega, R. & Sánchez, H. (1997-2000). *Draft A SIM.EM-S1 (SIM.1.1 .a to e) SIM International Comparison of Electrical Units*. Obtenido de http://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_info.

asp?cmp_idy=643&cmp_cod=SIM%2EEM-S1&page=1&search=2&cmp_cod_search=SIM%2EEM-S1&met_idy=&bra_idy=&epo_idy=&cmt_idy=&ett_idy_org=&lab_idy=&cou_cod

- [6] Sánchez, H. et al. (December, 2000). SIM Comparison of Electrical Units. *Metrologia*. Obtenido de http://www.nist.gov/manuscript-publication-search.cfm?pub_id=17128
- [7] Cioffi, J., Elmquist, R., Fan-Zhang, N., Ferreira, V., González, J., Hamilton, F., Izquierdo, D., Martínez, A., Montaluisa, J., Postigo, H., Ramos, R., Sánchez, H. & Ventura, R. (June 2007-October 2009). *SIM.EM-S5 Voltage, Current and Resistance Comparison*. Obtenido de http://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_info.asp?cmp_idy=644&cmp_cod=SIM.EM-S5&page
- [8] Krishnan, R. (April 2011). *Supplementary Comparison on Digital Multimeter (P1.APMP.EM-S8)*. Obtenido de http://kcdb.bipm.org/appendixb/appbresults/APMP.EM-S8/APMP.EM-S8_Technical_protocol.pdf
- [9] Centro Nacional de Metrología de México (CENAM). *Ensayos de Aptitud Técnica para calibración de Multímetros. (2014)* Obtenido de <http://www.cenam.gob.mx/servicios/paptitudtecnica/pelectrica.aspx>
- [10] Cox, M.G. (2002). The evaluation of key comparison data: An Introduction. *Metrologia*, 39, 587-595. Obtenido de <http://iopscience.iop.org/0026-1394/39/6/10>

Nueva oferta educativa como respuesta al desarrollo del país: Ingeniería Agroindustrial

New educational offerings in response to national development: Agroindustrial Engineering

Tomás de Jesús Guzmán-Hernández¹, Marcela Fernández-Rodríguez², Johanna Villalobos-Murillo³, Ignacio Monreal-Fernández⁴, Mikel Rivero-Marcos⁴, Angie Blanco-González⁵

Fecha de recepción: 16 de diciembre de 2015

Fecha de aprobación: 7 de marzo de 2016

Guzmán-Hernández, T; Fernández-Rodríguez, M; Villalobos-Murillo, J; Monreal-Fernandez, I; Rivero-Marcos, M; Blanco-González, A. Nueva oferta educativa como respuesta al desarrollo del país: Ingeniería Agroindustrial. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 47-59.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2887

- 1 Profesor DOCINADE, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos. Costa Rica. Correo electrónico: tjguzman@itcr.ac.cr. Teléfono: (506)2401-3014.
- 2 Profesora Escuela de Ciencias Naturales y Exactas, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos. Costa Rica. Teléfono: (506)2401-3283. Correo electrónico: mfernandez@itcr.ac.cr
- 3 Escuela de Ciencias Naturales y Exactas, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos. Costa Rica. Correo electrónico: jvillalobos@itcr.ac.cr. Teléfono: (506)2401-3068.
- 4 Pasante de la Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. Correo electrónico: imonreal123@gmail.com
- 5 Pasante de la Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. Correo electrónico: mriveromarcos@gmail.com
- 6 Tecnóloga de alimentos, profesora universitaria, consultora. San Carlos, Costa Rica. Correo electrónico: angieblancog@gmail.com



Palabras clave

Agroindustria; valor agregado; propuesta académica, Costa Rica; Sede Regional San Carlos TEC; competitividad agroindustrial.

Resumen

Costa Rica, donde la agricultura aún representa una parte importante del Producto Interno Bruto, se encuentra en un proceso de cambio de su economía nacional. La incorporación de valor agregado y la transformación de la materia prima procedentes de este sector se limitan al mejoramiento postcosecha en plantas empacadoras de la producción primaria y a la obtención de pulpas congeladas.

Con este artículo se pretende dar a conocer la necesidad de contar con profesionales en agroindustria en tres regiones del país, las regiones Huetar Norte, Caribe y Chorotega y brindar una síntesis de lo alcanzado como propuesta de carrera. La agroindustria juega un papel importante en la economía local, pero muestra un débil desarrollo por falta de recurso humano crítico que condicione los cambios en dichas zonas y a nivel nacional. En ese sentido, se considera que la creación de la carrera de Ingeniería Agroindustrial en la Sede Regional San Carlos del Tecnológico de Costa Rica (TEC) es clave para impulsar al sector. Esta institución de educación superior ha contribuido desde su creación al desarrollo integral del país, desde una perspectiva universitaria estatal de calidad y competitividad nacional e internacional. Con este compromiso, el TEC ha elaborado una propuesta de oferta curricular acorde a las necesidades locales y del país, basada en estudios de mercado, en la experiencia internacional relacionada con el tema objeto de estudio, una extensa revisión bibliográfica y el análisis de la producción y las exportaciones de las regiones. La propuesta también responde a la iniciativa emprendedora y la estrecha vinculación del TEC con los sectores sociales y productivos.

Keywords

Agribusiness; value added; academic proposal; Costa Rica; San Carlos Regional Headquarters of the Technological Institute of Costa Rica; agricultural competitiveness.

Abstract

Costa Rica is suffering a process of change in its national economy where agriculture is still an important part of the National Gross Product (GDP) and an inseparable part of the national economy. The current including of added value and the transformation of the raw material from the primary agricultural sector is taking a privileged position.

Currently, in this sector the most of the production only receives postharvest treatment in packing plants and in the production of frozen fruit pulps. Through this article it is intended to highlight the need of the country and specifically the Northern Region to have professionals in agro industry, sector that plays an important role but is not developed properly due to the lack of critical human resource that conditioned the changes in the area and in the country.

That is why the career of Agro industrial Engineering at the Regional Campus in San Carlos will be key to boosting the agribusiness sector. This proposal also responds to entrepreneurship and the close links it has with the social and productive sectors the Technological Institute of Costa Rica (TEC), an institution that since its creation has contributed to the development of the country, is constantly seeking for academic excellence, from a perspective of a quality state university with a clear national and international competitiveness.

With this commitment, from the TEC it was developed a proposal based on an extensive literature review, market research, analysis of production and exports in the region, to propose a tailored curricular offers that meets the needs of the region and country.

Introducción

Costa Rica es y seguirá siendo en los próximos años un país de una gran vocación agrícola. Así lo demuestra el anuario de PROCOMER (2014) en donde se expresa que la exportación del sector agrícola en productos frescos fue de más del 92 por ciento, en donde se incluyen piña, banano, café, plantas ornamentales, entre otros. De los productos pecuarios el 44 por ciento corresponde a lácteos, el 23% a cárnicos y el 31% a pescados y filetes. De igual manera el monto total de las exportaciones en este sector se equipara al resto de las exportaciones nacionales.

Sin embargo, el reto hoy, es no seguir exportando productos frescos, sino comenzar un cambio sustantivo en las exportaciones del sector agrícola incorporando valor a su producción agrícola primaria.

En el Plan Nacional de Desarrollo [PND] 2015-2018, así como en los planes regionales 2015-2030, se define una gran cantidad de programas y proyectos entre los cuales el enfoque está directamente relacionado con el de incremento de la productividad, los encadenamientos productivos, los productos sensibles para la seguridad y la soberanía alimentaria y nutricional, tales como arroz, frijol, maíz, papa leche, carne de res, carne de cerdo, cebolla y el programa de fomento agroindustrial, para mejorar el bienestar, económico y social en los territorios rurales.

A su vez, en el mismo documento se expresa que las ofertas educativas deben estar relacionadas con el desarrollo nacional y local, y ajustadas a las necesidades actuales.

En las regiones Huetar Norte, Caribe y Chorotega, no existe un desarrollo adecuado de empresas, PYMES o cooperativas que transforman la producción agropecuaria primaria en nuevos productos que puedan insertarse de manera exitosa en el mercado local e internacional.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) plantea en su documento *La agroindustria y el desarrollo económico*, de 1997, que:

“La agricultura y la industria han sido consideradas tradicionalmente como dos sectores separados tanto por sus características como por su función en el crecimiento económico de un país, se ha estimado que la agricultura es el elemento característico de la primera etapa del desarrollo, mientras que se ha utilizado el grado de industrialización como el indicador más pertinente del avance de un país en la vía del desarrollo.” (FAO, 1997)

El sector de transformación agrícola de los productos primarios aún es pequeño y en extremo limitado. En este contexto, se debe mencionar que en determinadas zonas de Costa Rica la agroindustria se limita básicamente a la industria azucarera, la del café, la producción de extractos de jugos y pulpas y la transformación de los productos lácteos (Cascante Sánchez, 2009). En este sentido, es importante destacar que, según la FAO (1997):

“... La agroindustria se refiere a la sub serie de actividades de manufacturación mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios derivados del sector agrícola. La agroindustria significa así la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca”.

Esta es la razón por la cual cobra mucha importancia el diseño de una nueva oferta académica, correspondiente al tema de los procesos agroindustriales, la incorporación de valor agregado y encadenamientos productivos en pequeñas y medianas empresas locales relacionadas con la agricultura y a su vez, apoyar con personal altamente calificado a las empresas más grandes.

En el Plan Nacional de Desarrollo [PND] 2014-2030, así como en los Planes Regionales, se establece claramente como uno de los objetivos básicos de estos años- y como parte de una estrategia nacional- la incorporación de valor agregado a la producción primaria y el desarrollo de la agroindustria, para generar nuevos productos, mejores mercados y lograr aumentar el empleo local y de calidad en todas las regiones (Ministerio de Planificación [MIDEPLAN], 2014a; MIDEPLAN, 2014b; MIDEPLAN, 2014c; MIDEPLAN, 2014d).

Por ejemplo, en el Plan Regional para la Región Huetar Norte (RHN) al 2030, se indica que la oferta educativa de las instituciones de educación superior (públicas y privadas) no da respuestas adecuadas al mercado laboral que necesita la región. Entre los objetivos específicos incluidos se encuentra mejorar la productividad y el empleo, mediante actividades económicas productivas diversificadas, innovadoras sostenibles y equitativas en cada uno de los sectores productivos, incentivando el uso adecuado y racional de los recursos, y contando con mano de obra calificada.

Para esto se visualiza una región en la cual el sector productivo y empresarial se ha ampliado y diversificado, es innovador, eficiente y competitivo; con diseños de tecnología apropiados a la dimensión empresarial. Para lograrlo se propone desarrollar la competitividad empresarial y la diversificación de la producción, con el uso de recursos locales y disponibles en instituciones académicas y técnicas, para el estímulo de la innovación tecnológica y el desarrollo de nuevas actividades empresariales con eficiencia y competitividad; mediante el fortalecimiento de la educación técnica y el enfoque del liderazgo en la formación profesional en sectores de alta demanda: agro-turismo-tecnología (MIDEPLAN, 2014d).

A nivel nacional, el MIDEPLAN (2014a) indica en el PND 2015-2018 una serie de programas y proyectos entre ellos: el programa de crédito para las PYME, el programa de incremento de la productividad de los productos sensibles para la seguridad y la soberanía alimentaria y nutricional y el programa de fomento agroindustrial.

Por otro lado, de acuerdo con comunicaciones de representantes de la Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo [CINDE] existe una necesidad real del ingeniero agroindustrial en Costa Rica, considerando las principales actividades que se desarrollan en el país (M.Umaña, comunicación personal, 04 de noviembre del 2015). Según los recientes enfoques de la atracción de capitales, se pretende a mediano plazo la inclusión de grandes empresas agroindustriales que inviertan tanto en el abastecimiento de materias primas como en la transformación de productos, en sectores como la producción de banano y piña, entre otros, en zonas como Limón, Región Huetar Norte y Chorotega. De igual forma, el CINDE expresa la consulta que realizan los inversionistas sobre la disponibilidad de recurso humano y mano de obra calificada, para atender las necesidades de las futuras inversiones agroindustriales. Además, se destaca el uso del rechazo de las exportaciones, aprovechamiento de otros productos que no tienen salida de exportación o que los precios del mercado les desfavorecen, de manera que se visualice la formulación de pymes para encadenamientos productivos.

Así mismo, según declaraciones del Viceministro del MAG Ing. José Joaquín Salazar Rojas, en reunión celebrada en el TEC de San Carlos en Santa Clara, el 5 de noviembre del 2015, se destaca la importancia del valor agregado y el aprovechamiento de los subproductos de la agricultura, así como de contar con herramientas científicas y tecnológicas para enfrentar los retos de productividad, innovación, calidad, inocuidad y aprovechamiento adecuado de los residuos. De acuerdo con las nuevas funciones del Consejo Nacional de Producción [CNP]

se establecerán en el país centros de producción de valor agregado, con lo cual aumenta la necesidad de ingenieros agroindustriales, especialmente dando la relevancia respectiva al sector agroindustrial no alimentario, así como al desarrollo de alimentos funcionales y nutracéuticos.

El interés del TEC por la agroindustria data desde sus inicios, como bien señala Alberto Álvarez en el documento “Proyecto Curricular para la Carrera de Agroindustria” (1978), en el que hace el estudio para la apertura de esta carrera en la Sede San Carlos. No obstante, esta propuesta inicial no pudo ser concluida.

La actual iniciativa de retomar la creación de la carrera de Agroindustria en el TEC nace de la Jornada de Desarrollo Sostenible para de la Zona Norte, realizada en 2003 en la Sede Regional de San Carlos. La idea surge como parte de un proyecto de fortalecimiento del Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible para el Trópico Húmedo (CIDASTH), financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE). En esta jornada, los participantes concluyeron que la Región Huetar Norte tiene un gran potencial agroindustrial, pero no cuenta con el recurso humano necesario para explotar esta área, debido principalmente a la falta de profesionales calificados que permitan el enlace entre la agricultura y la industria para la explotación de los recursos.

Como síntesis de las memorias de la Jornada de Desarrollo Sostenible 2003 (Rodríguez, 2003), se puede señalar lo siguiente:

“La Región Huetar Norte es reconocida en el ámbito nacional por su producción agrícola, en donde es líder en producción de una variedad de frutas frescas como piña, naranja y banano, plátano, así como de raíces y tubérculos, productos lácteos y cárnicos, producción de azúcar, etc.”.

En esa misma jornada se analizaron aspectos negativos del desarrollo socioeconómico de la región, tales como: (a) organizaciones agrícolas débiles, no consolidadas; (b) debilidad en el proceso de comercialización agrícola regional, (c) poco valor agregado de los productos agrícolas y (d) falta de encadenamiento de la producción agrícola. Se indicó que como parte causal de dichas limitaciones se encuentra la falta de correspondencia entre la planificación educativa y los requerimientos socioeconómicos, productivos y culturales de la región relacionados con el tema de la incorporación de valor agregado y los procesos agroindustriales.

En esta jornada, los sectores productivos, académicos y privados definieron las orientaciones a futuro que logren encausar un buen desarrollo de la región, tales como (1) mejorar la inocuidad y la calidad de los productos elaborados durante los procesos productivos y comerciales, (2) promover y desarrollar el conglomerado de empresas alrededor de una actividad agroindustrial relacionada con el desarrollo de los productos agrícolas de la zona, (3) buscar nuevas alternativas de producción agrícola y agroindustrial, que tengan nichos de mercado nacional e internacional no satisfechos y (4) promover la innovación tecnológica en la región. Finalmente, se le encargó al TEC, como centro para el desarrollo académico y de la transferencia de tecnología, el diseño de una nueva oferta educativa de acuerdo a las demandas del sector productivo de la Región Huetar Norte y, especialmente, del desarrollo de una masa crítica de especialistas en el tema.

Sobre la base de todo lo anterior es que se retoma el diseño de una nueva oferta académica que forma parte de las prioridades definidas para la Región Huetar Norte, así como también de las regiones Huetar Caribe y Chorotega.

La agroindustria ofrece a la población productos muy diversos que aseguran la inocuidad, la nutrición, la comodidad y el disfrute. Al mismo tiempo, se maximiza la vida útil y el

aprovechamiento de los productos, permitiendo a los productores y transformadores un valor agregado que redundará en adecuadas ganancias.

Las agroindustrias también juegan un papel central en la generación de empleo y se caracterizan por una marcada presencia de mujeres en su fuerza de trabajo. El sector no tradicional, que para los países en desarrollo es actualmente el más dinámico en términos de exportaciones, se caracteriza por altos niveles de empleo femenino.

Los procesos de innovación y las nuevas tecnologías obligan a ampliar la gama de los insumos agroindustriales que pueden tenerse en cuenta, incluyendo productos biotecnológicos y sintéticos, trascendiendo así la transformación alimentaria típica. Esto significa que la agroindustria puede elaborar desde artículos sencillos mínimamente procesados hasta muy especializados, que con frecuencia son el resultado de notables inversiones en equipo, recursos económicos, tiempo y recurso humano por parte de los departamentos de investigación y desarrollo.

No se puede omitir que en Costa Rica solo una universidad ofrece la formación en esta área, enfocados en la industria alimentaria convencional, es decir, una formación que no considera las iniciativas no alimentarias. El país requiere profesionales especializados en procesos agroindustriales alimentarios y no alimentarios, que incluyen desde la modificación de la producción primaria agrícola, acuícola o del mar hasta la producción de biocombustibles, cosméticos, medicinas y otras ramas emergentes como productos de la biotecnología, todos ellos aspectos incluidos en esta innovadora opción del TEC.

Propuesta de carrera

Como se indicó anteriormente, la iniciativa de crear una carrera en el TEC que responda a una necesidad clara de la Región Huetar Norte y en el país, nace en 2003, pero no es sino hasta 2012 cuando en la Sede San Carlos se comienza a trabajar en un borrador. Es así que se realiza un estudio de mercado para fundamentar la pertinencia de la carrera y se redacta un proyecto sobre el perfil del profesional, con base en los requerimientos de las empresas consultadas y en una revisión preliminar del potencial agrícola e industrial y económico de la región y del país. De esta manera se empezó a contextualizar la propuesta.

Una vez que la revisión bibliográfica y el estudio de mercado indicaron que era una necesidad urgente el contar con profesionales en agroindustria trabajando para el desarrollo de la región y del país, es que el TEC, a través de la Sede Regional de San Carlos hace un esfuerzo por impulsar la formación académica en el área agroindustrial. La Dirección de Sede creó una Comisión de Diseño Curricular, formada por profesores comprometidos y convencidos de sumar esfuerzos para ofrecer a la región esta oferta. En este punto, era de suma importancia definir el objetivo de la carrera, el objeto de estudio y el perfil del profesional que necesita la región y el país, lo cual quedó de la manera que se detalla a continuación.

Propósito general de la carrera

Brindar al país un nuevo profesional que transforme la producción agropecuaria para lograr su máximo aprovechamiento, desarrollando procesos y productos según sistemas ecosostenibles que ofrecerán al consumidor opciones saludables, tecnológicamente limpias e inocuas y garanticen a productores y procesadores un beneficio económico para gozar de una alta calidad de vida.

Objeto de estudio de la carrera de Ingeniería Agroindustrial

El objeto de estudio del ingeniero agroindustrial será la incorporación de valor agregado en la producción agropecuaria transformando la producción primaria, hasta un máximo aprovechamiento. Para ello deberá integrar sus conocimientos en el tema de caracterización y calidad de las materias primas y en los procesos agroindustriales para su transformación, logrando productos innovadores, inocuos, de alta calidad y de larga vida útil.

Perfil profesional

- Un profesional con una formación interdisciplinaria e integral, con un enfoque muy dirigido a la transformación e incorporación de valor agregado a las materias primas de los sistemas agropecuarios del país.
- Capaz de buscar alternativas de productos transformados acordes con la realidad geográfica, edafológica, política, económica y social de la región.
- Ejercerá su trabajo con una visión ecológica, pero de aprovechamiento máximo de los recursos. Capaz de diseñar de manera eficiente procesos, productos, plantas transformadoras y equipo de procesamiento industrial.
- Tendrá competencias para la investigación aplicada, para optimizar procesos agroproductivos y desarrollar nuevos productos, con un alto valor agregado en lo económico, funcional, ecológico y con inocuidad.

Para la elaboración del perfil se valoraron todos los ejes del conocimiento, el saber conocer, hacer, convivir, ser y emprender, por lo que lo anterior es un resumen de todas las capacidades y competencias que este profesional debe desarrollar.

Una vez elaborado el perfil profesional, se trabajó en la formulación de una malla curricular, que incluye los cursos básicos requeridos para cualquier ingeniería del TEC, así como los de Vida Estudiantil y Humanidades. Para definir los cursos de carrera relacionados con la transformación y buen aprovechamiento de las materias primas, se consultó a profesionales en agroindustria. Como parte de este proceso, en noviembre de 2013 se recibió la visita del Dr. Francisco J. Mesías, de la Universidad de Extremadura, España, y en junio de 2014 del M.Sc. Leonardo Alonso, de la Universidad de los Llanos, Colombia. Ambos brindaron aportes de gran valor que permitieron definir una primera versión de la malla curricular. Luego a finales del 2015 se realizó una gira académica por diferentes universidades de España que imparten carreras de Agroindustria o afines, con los siguientes objetivos; (1) analizar los planes de estudio y los requerimientos de equipos necesarios para impartir la carrera, (2) evaluar la propuesta con la colaboración de profesores expertos con el fin de mejorar la misma y (3) determinar la posibilidad de convenios que puedan fortalecer la propuesta. Las Universidades visitadas fueron: Universidad de Extremadura, Universidad de Granada, Universidad de Córdoba, Universidad Pública de Navarra, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia e Instituto Andaluz de Tecnologías. Los resultados fueron presentados en un informe solicitado por la Vicerrectoría de Docencia (Guzmán, Villalobos, & Fernández, 2015). Con todos estos aportes, la propuesta fue ajustada, respetando los requerimientos establecidos por el TEC.

Se dispone de una malla curricular analizada y aprobada por la comisión de trabajo, que cumple con los objetivos de la propuesta y con la normativa institucional, con la formulación de los programas de cursos nuevos basados en los objetivos, contenidos y fundamentación pedagógica planteados para el plan de estudios de la carrera.

En resumen, el esquema de aprobación de la carrera ha seguido los siguientes pasos:

1. Revisión bibliográfica y estudio de mercado. Año 2010 – 2012.
2. Conformación de la comisión curricular y elaboración del perfil profesional I semestre del 2013.
3. Elaboración del documento oficial de la propuesta hasta el capítulo VIII. II semestre del 2013.
4. Elaboración de una malla curricular para su revisión por especialistas nacionales y extranjeros. 2014-2015
5. Aprobación de la malla, elaboración de programas y finalización de la propuesta. 2015-2016
6. Aprobación de la propuesta a nivel institucional y por el Consejo Nacional de Rectores [CONARE]. 2016-2017.
7. Inicio de la carrera 2018-2019

Una vez terminadas las diferentes etapas o pasos y concluido el documento oficial, se procederá a la respectiva aprobación institucional y con dicho aval, presentarla al CONARE para su aprobación como nueva oferta académica del TEC, en la Sede Regional San Carlos.

Fundamentación pedagógica

La propuesta de la carrera se basa en el Modelo Académico del TEC, aprobado en el III Congreso Institucional (2003). En este se reafirman los fines de los centros de educación superior a saber: investigación, enseñanza, extensión y ética en todo su quehacer. Asimismo, se desarrolla todo su fundamento en la importancia de la formación como respuesta a las necesidades del entorno y del fortalecimiento de competencias, favorecidos por la generación y transferencia de conocimientos e innovaciones científicas, técnicas y tecnológicas inter, multi y transdisciplinarias, con pleno respeto por el ambiente y el ser humano, actor integral y activo en el desarrollo del país y de la región.

De forma más precisa, la filosofía que se promueve a nivel de docencia en el TEC se basa en el “aprender a aprender” (ITCR, 2003), de manera que los perfiles profesionales se fundamentan en el perfeccionamiento de competencias que favorezcan el crecimiento y desarrollo integral de las personas y su aptitud para enfrentar exitosamente los retos de su ejercicio profesional y personal. Este proceso incluye los valores de la filosofía educativa:

- a. “El aprender a aprender
- b. El aprender a emprender
- c. El aprender a hacer
- d. El aprender a ser
- e. El aprender a vivir
- f. El aprender a vivir juntos
- g. El aprender a resolver” (TEC, 2003).

Para el perfil académico del ingeniero agroindustrial se abordarán cinco saberes: saber conocer, saber hacer, saber ser, saber convivir y saber emprender; todo ello contemplado en el Modelo académico del TEC e íntimamente relacionado con los cuatro ejes estratégicos del perfil profesional:

- a. Equidad y formación integral de las personas.
- b. Gestión estratégica de la información y la tecnología.
- c. Espíritu emprendedor.
- d. Manejo, protección y sostenibilidad ambiental.

En este ingeniero no solo se fortalecerán sus valores, habilidades y destrezas propias, sino que se le facilitarán herramientas con las cuales pueda entender y analizar las situaciones. Hernández y Ospina (2005) indican que la estrategia de un ingeniero se desenvuelve en tres modos de acción dinámicos y traslapados (fundamentar, analizar, diseñar-ejecutar) atravesados por la investigación y el espíritu emprendedor. “El carácter transversal de la investigación y el emprendimiento permite fundamentar en los estudiantes y, por consiguiente, en el futuro egresado el pensamiento analítico y crítico y una actitud emprendedora y de mejoramiento continuo en su vida personal y en su desempeño académico y profesional” (Hernández & Ospina, 2005).

Es decir, la preparación del ingeniero agroindustrial se preocupará por forjar en cada persona esa actitud y aptitud para la indagación y la lectura objetiva del entorno, y con ellas (valores, destrezas, competencias) desarrollará el arte de la resolución creativa de problemas, el uso responsable de los recursos naturales y la búsqueda de una mejor calidad de vida para la sociedad, mediante la investigación y la innovación, con ética profesional y personal.

Como parte de las actividades pedagógicas del docente, se utilizarán las actividades integradoras expositivas y demostrativas en las cuales los talleres grupales de aplicación, las mesas redondas, los mapas conceptuales y la realización de proyectos y ejercicios en clase servirán, en la mayoría de los cursos, para procesar y analizar información impartida por el profesor. Cada docente particulariza, enfoca y relaciona el conocimiento desde su saber; integrando los ejes transversales de la carrera con el fin de enriquecer la visión holística del estudiante en su formación como ingeniero agroindustrial.

Aunado al proceso educativo, se propiciarán las visitas técnicas a industrias representativas de cada cadena agroindustrial, así como la elaboración de proyectos para la solución de problemas del entorno y consolidar un grupo de apoyo para investigaciones agroindustriales. Esto se complementará con pasantías y con el desarrollo de estudios comparativos sobre comportamiento del sector con respecto a otros países.

Plan de estudios

El plan de estudios está planteado de forma que se satisface el perfil profesional y ocupacional, teniendo en cuenta un equilibrio adecuado entre las áreas disciplinarias, agrupadas en módulos académicos, y los ejes transversales aprobados. Está conformado por diez semestres durante los cinco años de duración de la carrera.

En la figura 1 se puede observar la intervención de los saberes del perfil académico-profesional en cada uno de los módulos académicos, siendo evidente la participación de los rasgos propuestos como necesarios para que el profesional no sólo sea íntegro y versátil desde el escenario ocupacional, sino también desde la perspectiva institucional.

Se destaca que los cursos que son inherentes al quehacer agroindustrial (gestión agroindustrial, ingeniería agroindustrial, agroindustria alimentaria y agroindustria general), presentan una fuerte distribución de los rasgos de los saberes del perfil académico-profesional del ingeniero propuesto.

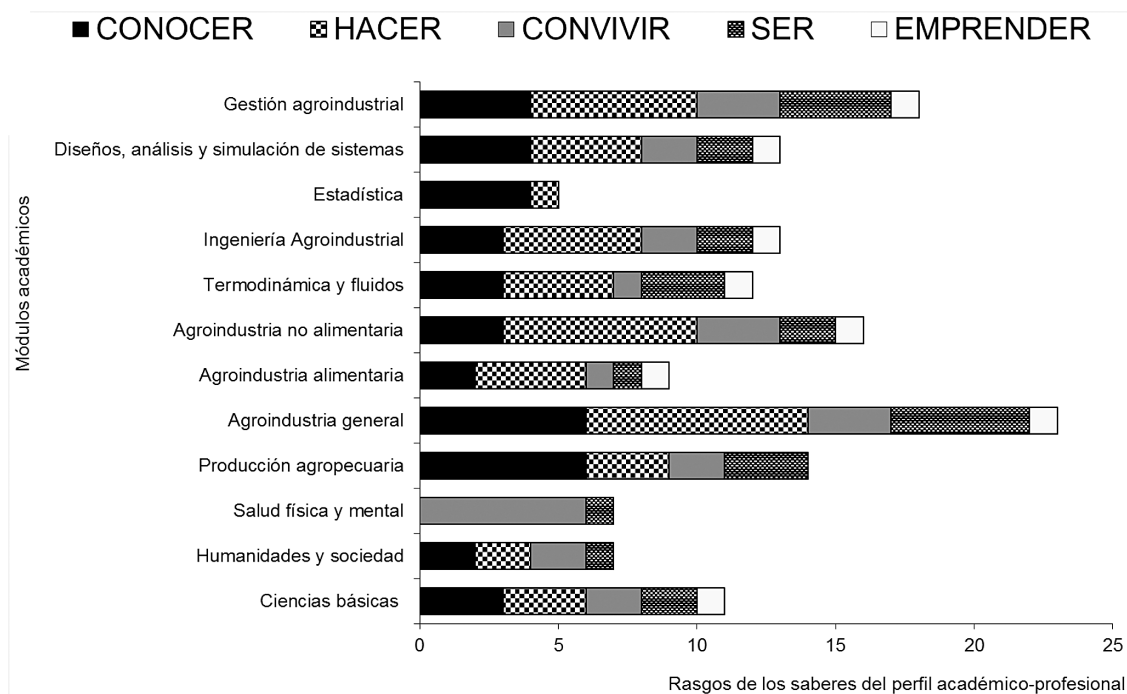


Figura 1. Distribución de los rasgos del perfil académico-profesional del Ingeniero Agroindustrial en la malla curricular clasificada en doce módulos académicos.

Respecto a los módulos académicos (figura 2), hay una importante participación de ciencias básicas en los primeros cinco semestres, con inserciones de cursos ingenieriles, introducción a la agroindustria en general, producción agropecuaria y la comunicación y lenguaje. Conforme se avanza en el plan se hace más aplicada la ciencia, tomando relevancia la Gestión Agroindustrial, la especialización alimentaria y no alimentaria y las TIC's. A lo largo de todos los semestres estarán presentes los cursos de ciencias aplicadas propios de la nueva carrera.

El plan de estudios está diseñado de manera que el futuro profesional inicia con una carga académica que le permite la inserción curricular paulatina (figura 3). Conforme se avanza en conocimientos, experiencias y desarrollo de habilidades, se disponen de módulos académicos más variados que apoyan la especialidad por la que opta el estudiante, sea agroindustria alimentaria o agroindustria no alimentaria (electivas I y II). La electiva III, por su parte, se orienta específicamente a la acción Gerencial y se cursa en ambas especialidades.

Es preciso señalar que la formación humanística y la salud mental y física se distribuyen a lo largo de toda la formación ofrecida al nuevo ingeniero. Se cumple de esta manera con el objetivo de lograr un profesional cuya fuerte formación básica le permita producir, transformar y comercializar bienes, que no pierden de vista el bienestar de las personas ni la protección y conservación ambiental.

La propuesta de carrera de Ingeniería Agroindustrial presenta como cursos propios (siglas IA) aproximadamente dos terceras partes (36) del total de materias del plan de estudios (61), como se evidencia en la figura 3. Por otro lado, se integran a la nueva carrera las escuelas, unidades desconcentradas y departamentos de la Sede San Carlos, aportando un total de 23 cursos distribuidos de la siguiente manera: Escuela de Ciencias Naturales y Exactas, 13 (ECNE); Escuela de Idiomas y Ciencias Sociales, 6 (EICS); Departamento de Vida Estudiantil y Servicios Académicos, 3 (SE) y Administración de Empresas, 1 (AE). Asimismo, la Escuela de Mantenimiento Industrial (MI) y la de Seguridad Laboral e Higiene Ambiental (SO), ofrecerían un curso cada una.

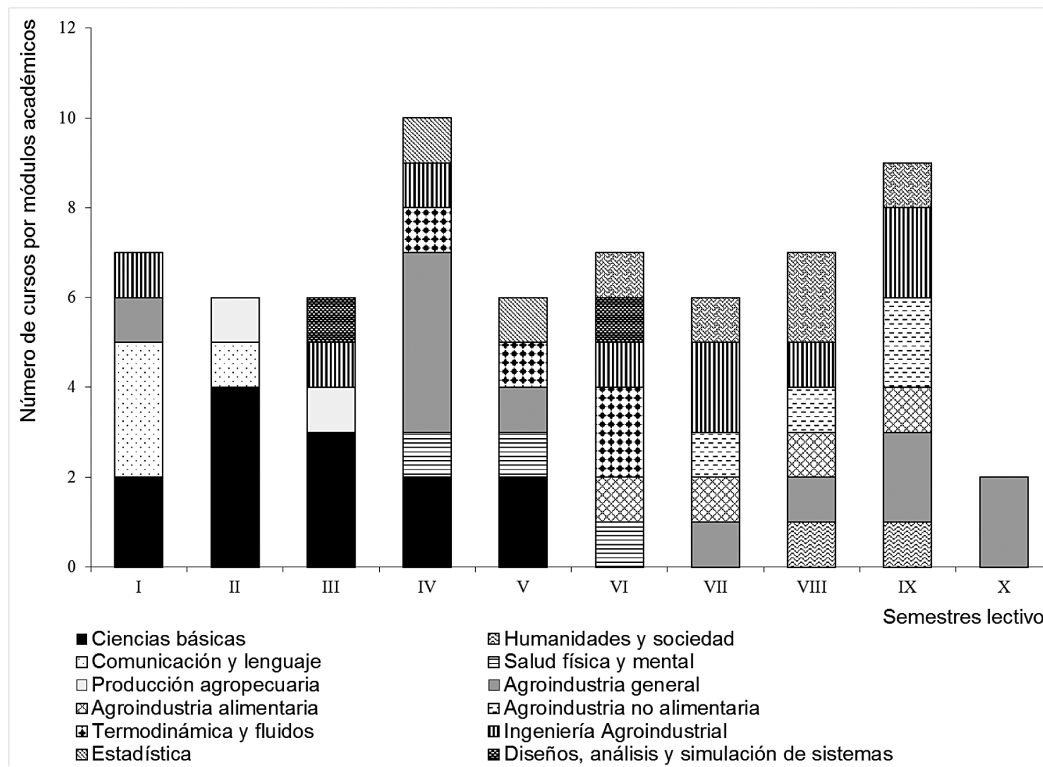


Figura 2. Distribución de los módulos académicos a lo largo del plan de estudios, clasificado en semestres lectivos.

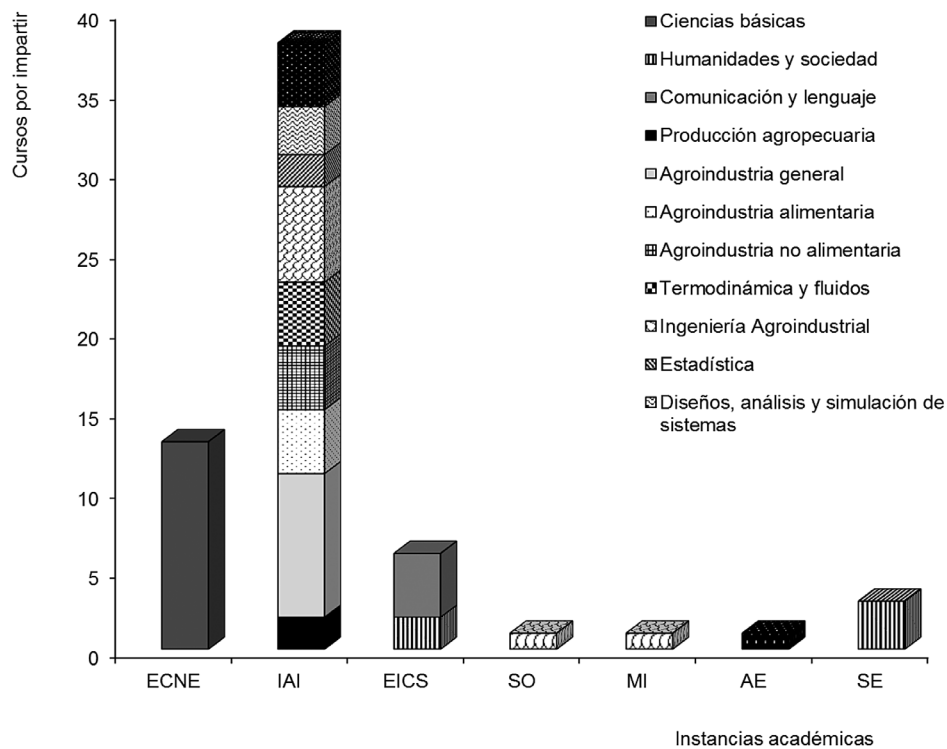


Figura 3. Participación de las instancias académicas que impartirán los cursos de la carrera, según el módulo académico correspondiente.

Cabe destacar que, aunque la Escuela de Agronomía no está presente en la figura 3, ésta contribuiría a impartir tres cursos: Sistemas de Producción Agrícola, Sistemas de Producción Animal y Fisiología y Tecnología Postcosecha, mismos que corresponden a los cursos propios de la carrera.

El estudiante de Ingeniería Agroindustrial cursará un total de 61 asignaturas, de las cuales 17 ya existen (28% del total) y 44 son nuevas (72%). De las nuevas, 16 serían adaptaciones de cursos ya existentes, por lo que solo 28 serían novedades reales.

Estructura organizativa de la carrera de agroindustria

De acuerdo con la normativa del TEC, la nueva carrera puede insertarse institucionalmente de tres maneras:

1. En una escuela de las que participan en el diseño de la nueva oferta académica.
2. En un área académica formada por las escuelas que colaboran.
3. En una nueva unidad académica, como una escuela específica

De acuerdo con estas tres estructuras administrativas, la que parece más fuerte y adecuada es la primera, con base en los siguientes supuestos:

- La carrera ha surgido en primera instancia como resultado de la vinculación de la Sede Regional San Carlos con los sectores productivos, el sector privado y la sociedad civil de la Región Huetar Norte.
- La importancia de la Zona Norte en la producción agropecuaria nacional y la poca transformación que se le da a la mayoría de sus productos, sin obviar la importancia de este sector emergente en provincias cercanas como Guanacaste y Limón.
- La necesidad de lograr un desarrollo local adecuado apegado a las formas primarias de producción de las diferentes zonas del país.
- La creación de la nueva Escuela de Ciencias Naturales y Exactas, con un aporte del 21% de cursos brindados a la carrera, antecedido únicamente por los cursos propios.

Consideraciones finales

La nueva oferta académica no solo se brindaría en un laboratorio vivo, extenso y rico en oportunidades como es la Sede Regional San Carlos, sino que puede extenderse a provincias hermanas, con un impacto social y académico que redundaría en una mejora considerable en las condiciones de zonas del país con un bajo crecimiento socioeconómico, como Limón, evidenciado por investigaciones del Programa Estado de la Nación (Matarrita Venegas, 2012).

Con esta opción académica se busca el fortalecimiento de la ciudadanía, del humanismo, de la participación del agricultor -desde la pequeña empresa- de la competitividad del país, de la maximización de recursos, de la valoración y minimización del impacto ambiental de las actividades humanas, en especial de los procesos agroindustriales; utilizando tecnologías tradicionales y no tradicionales, tanto en la formación educativa como en la empresa agroindustrial.

Bibliografía

- Álvarez Rojas, A. (1978). *Proyecto Curricular para la carrera de Agroindustria: versión preliminar*. Cartago: ITCR.
- Arauz, L. (2012). *Agricultura: prácticas y desafíos ambientales. Décimo octavo informe Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible. Informe final. 2011 (ponencia)*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de PEN: http://workspace.unpan.org/sites/Internet/Documents/agricultura_desaf%C3%ADos.pdf
- Cascante Sánchez, M. (Agosto de 2009). *Estudio sobre la Agroindustria Rural en Costa Rica*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de IICA: <http://www.territorioscentroamericanos.org/Agroindustria/Documents/Estudio%20sobre%20la%20Agroindustria%20Rural%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (1997). *El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de FAO: <http://www.fao.org/docrep/017/w5800s/w5800s.pdf>
- Guzman, T., Villalobos, J., & Fernández, M. (2015). *Informe de gira por algunas Universidades Españolas vinculadas a la Agroindustria*. San Carlos, Costa Rica.
- Hernández, R. D., & Ospina, L. V. (Noviembre de 2005). Currículos estructurados en la lógica y el método de la ingeniería. *Revista EIA*(4), 55-65.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2011). *La agricultura de Costa Rica: Situación al 2010, su Evolución y Prospectiva*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de IICA: <http://www.iica.int/Esp/regiones/central/cr/Documentos%20Oficina%20Costa%20Rica/Agricultura-CR.pdf>
- Instituto Tecnológico de Costa Rica [TEC]. (Agosto de 2003). *Modelo Académico del Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Recuperado el 23 de marzo de 2015, de TEC: http://www.nuestrotec.cr/Unidades_Otros/IIIcongreso/III%20Congreso%20Institucional/Modelo_Academico_ITCR.pdf
- Matarrita Venegas, R. (2012). *Capacidades productivas para generar y absorber riqueza: Un enfoque territorial. Décimo octavo informe de Estado de la Nación en desarrollo Humano Sostenible. Informe final. 2011. (Ponencia)*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de PEN: http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/018/matarrita_capacidades_productivas_enfoque_territorial.pdf
- Ministerio de Planificación [MIDEPLAN]. (2014a). *Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018. "Alberto Cañas Escalante"*. San José, Costa Rica: MIDEPLAN.
- MIDEPLAN. (2014b). *Región Huetar Caribe. Plan de Desarrollo. Competitividad y Ordenamiento Territorial al 2030*. San José, Costa Rica: MIDEPLAN.
- MIDEPLAN. (2014c). *Región Huetar Chorotega. Plan de Desarrollo. Competitividad y Ordenamiento Territorial al 2030*. San José, Costa Rica: MIDEPLAN.
- MIDEPLAN. (2014d). *Región Huetar Norte. Plan de Desarrollo. Competitividad y Ordenamiento Territorial al 2030*. San José, Costa Rica: MIDEPLAN.
- Rodríguez, B. R. (2003). *Jornada para el desarrollo sostenible de la Región Huetar Norte*. Alajuela, Costa Rica: Manuscrito no publicado.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial [SEPSA]. (2011). *Política de estado para el sector agroalimentario y el desarrollo rural costarricense. 2010-2021*. Recuperado el 16 de abril de 2015, de MAG: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00289.pdf>
- Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica. [PROCOMER] (2014) *Esencial Costa Rica. Estadísticas del Comercio Exterior de Costa Rica*. Recuperado el día 24 de septiembre del 2015

Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica*

Morphological characterization of 12 sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes grown under greenhouse conditions in Costa Rica

Esteban Elizondo-Cabalceta¹, José Eladio Monge-Pérez²

Fecha de recepción: 4 de enero de 2016

Fecha de aprobación: 8 de abril de 2016

Elizondo-Cabalceta, E; Monge-Pérez, J. Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág. 60-72.

DOI: 10.18845/tm.v29i3.2888

* Este trabajo forma parte de la tesis de licenciatura en Ingeniería Agronómica del primer autor, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

1 Costarricense, ingeniero agrónomo. Correo electrónico: estebanec5@gmail.com, Heredia, Costa Rica.

2 Costarricense, ingeniero agrónomo. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno y Sede de Guanacaste, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono (506)2289-5969. Correo electrónico: melonescr@yahoo.com.mx



Palabras clave

Chile dulce; pimiento; *Capsicum annuum*; invernadero; longitud del fruto; ancho del fruto; altura de la planta; diámetro del tallo.

Resumen

Se hizo una caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce con frutos de forma cónica cultivados en invernadero, tanto a nivel cualitativo (cinco variables) como cuantitativo (ocho variables). Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre genotipos en el caso de las variables cuantitativas. Los datos muestran una amplia variabilidad en cuanto a la altura de la planta (1,26-1,71 m), área foliar (100,49-158,91 cm²), diámetro del tallo (12,51-15,83 mm), longitud del tallo (25,75-36,88 cm), ancho del fruto (4,97-6,19 cm), longitud del fruto (11,24-19,43 cm), relación largo/ancho del fruto (1,82-3,49) y espesor de la pared del fruto (4,06-5,44 mm). Esta información es útil para los productores en el proceso de selección del genotipo que utilizarán en su sistema productivo, según el nicho de mercado de interés.

Keywords

Sweet pepper; *Capsicum annuum*; greenhouse; fruit length; fruit width; plant height; stem diameter.

Abstract

A morphological characterization of 12 sweet pepper genotypes of conical fruit shape grown under greenhouse conditions was conducted, considering both qualitative (five) and quantitative (eight) variables. There were statistically significant differences between genotypes for quantitative variables. Data show a wide variability with respect to plant height (1,26 – 1,71 m), foliar area (100,49 – 158,91 cm²), stem diameter (12,51 – 15,83 mm), stem length (25,75 – 36,88 cm), fruit width (4,97 – 6,19 cm), fruit length (11,24 – 19,43 cm), fruit length/width ratio (1,82 – 3,49), and fruit wall thickness (4,06 – 5,44 mm). This information is useful for growers to choose the best variety for their particular market purposes.

Introducción

En Costa Rica, el mercado nacional de chile dulce requiere de frutos de punta alargada y un peso de 150 a 350 g, de color rojo. La mayoría de los productores utiliza principalmente la variedad híbrida Nathalie F-1 (Jiménez et al., 2007), sin embargo, existen otras variedades con posibilidades de competir en el mercado nacional en cuanto a características agronómicas y de rendimiento, tanto en producción a campo abierto como bajo invernadero.

En Costa Rica se ha dado un aumento en la producción y consumo de chile dulce bajo condiciones de invernadero, lo que ha permitido ampliar la superficie de siembra, mejorar las técnicas y renovar el genotipo vegetal con frutos cada vez más homogéneos y más variados en sus formas, tamaños y colores.

Tradicionalmente, los caracteres morfológicos se han utilizado tanto para describir como para distinguir las variedades vegetales. En la actualidad, en chile dulce se utilizan los descriptores del género *Capsicum* definidos por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1995), y con base en ellos se han descrito diferentes tipos y variedades alrededor del mundo (Alonso et al., 2005).

De las cinco especies cultivadas de *Capsicum*, *C. annuum* presenta la mayor variabilidad morfológica en cuanto a tamaño, forma y color del fruto, el cual puede variar de 1 a 30 cm de longitud, tener una forma alargada, cónica o redonda y un cuerpo grueso, macizo o aplanado. Los frutos presentan coloración verde o amarilla cuando están inmaduros, y roja, amarilla, anaranjada, morada, blanca, negra o café en la madurez (IPGRI, 1995; Laborde & Pozo, 1982). Las características vegetativas también son variables (Eshbaugh, 1975). Estas cualidades morfológicas se han utilizado ampliamente con propósitos descriptivos y se usan en general para distinguir variedades vegetales; sin embargo, este método es cuestionable debido a que los caracteres morfológicos son afectados por el ambiente (Sitthiwong et al., 2005).

Martín y González (1991) afirman que la caracterización morfológica de los genotipos de plantas es una actividad que permite la selección de las variedades más promisorias de un cultivo, para su posterior uso en programas de mejoramiento. El descriptor es una característica evaluable en un momento determinado, y como todo atributo de un organismo, es producto de la interacción de uno o más genes entre sí y con el ambiente (Engels, 1980). Los descriptores pueden ser cualitativos, generalmente poco modificables por factores ambientales como el color y la forma de los frutos; o también pueden ser cuantitativos, como la longitud del fruto y el rendimiento, y se expresan en unidades de medida.

Una de las mayores preocupaciones de los fitomejoradores de chile dulce es poder conocer y determinar las características cuantitativas asociadas directamente con el rendimiento del cultivo (Martín & González, 1991); el incremento del rendimiento se puede llevar a cabo seleccionando plantas de acuerdo con características como número de frutos por planta, altura y número de ramas principales, las cuales, junto con el diámetro y longitud del fruto, presentan gran variabilidad (Ado & Samawira, 1987).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar, mediante descriptores morfológicos, 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) con frutos de forma cónica, cultivados bajo condiciones de invernadero en Alajuela, Costa Rica.

Materiales y métodos

La investigación se realizó de julio de 2010 a abril de 2011 en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica (UCR), situada a 10° 1' latitud Norte y 84° 16' longitud Oeste, en el distrito San José del cantón Central de la provincia de Alajuela, a una altitud de 883 msnm, con un promedio de precipitación anual de 1940 mm distribuidos de mayo a noviembre y un promedio anual de temperatura de 22 °C.

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero modelo XR de la marca Richel (Francia), tipo multicapilla, con techo de plástico y ventilación cenital automática. Cuenta con un sistema de riego equipado por medio de un tanque de 2640 litros, una bomba AOSmith de 2,0 hp con una cámara hidroneumática, y un temporizador electrónico (*timer*).

Se evaluaron 12 genotipos híbridos de chile dulce (cuadro 1). El almácigo se sembró el 7 de julio de 2010 y el trasplante se realizó el 19 de agosto de ese año, 43 días después de la siembra. Las plántulas se establecieron en 168 sacos de un metro de largo, 22 cm de ancho y 22 cm de altura, rellenos con sustrato inerte de fibra de coco molida. Se establecieron 12 hileras de 14 sacos cada una, con una longitud de 14 m cada hilera. La distancia entre hileras fue de 1,54 m y la distancia entre plantas de 0,25 m, para una densidad de siembra de 25974 plantas/ha. El cultivo se manejó mediante poda española, que consistió en dejar las plantas a libre crecimiento.

Cuadro 1. Genotipos de chile dulce utilizados en la investigación

Genotipo	Proveedor
Cortés	DAC
FBM-1	Universidad de Costa Rica
FBM-2	Universidad de Costa Rica
FBM-3	Universidad de Costa Rica
FBM-7	Universidad de Costa Rica
FBM-11	Universidad de Costa Rica
FBM-12	Universidad de Costa Rica
Jumbo	Villaplants
Lamuyo amarillo	Villaplants
Lamuyo experimental	Villaplants
Tiquicia	Villaplants
V-701	Seracsa

Se utilizó un sistema de riego por goteo para proporcionar a las plantas agua y nutrientes. El método de aplicación fue mediante goteros que descargaban 2,0 l/hora por planta. Se utilizó un dosificador (Dosatron) con una proporción de inyección de 1:64. Las mezclas de sales solubles se prepararon los días lunes, miércoles y viernes a partir del día del trasplante.

La cosecha se efectuó del 1º de noviembre de 2010 al 14 de abril de 2011 y se realizó un total de 20 cosechas en forma semanal, recolectando todos los frutos con al menos un 50% de madurez.

Las variables evaluadas para la planta y el fruto se seleccionaron a partir de la lista de descriptores para *Capsicum* (IPGRI, 1995):

- *Forma de la hoja:* se determinó según el descriptor 7.1.2.15. Se tomaron cuatro hojas por repetición y por observación se clasificaron en: deltoide, oval o lanceolada. Esta evaluación se efectuó al final del ciclo del cultivo.
- *Altura de la planta:* se midió la altura de las cuatro plantas de la unidad experimental al final del ciclo del cultivo, 209 días después de trasplante (ddt), desde la base del tallo de la planta hasta el último meristemo de crecimiento apical, se registró el dato en metros y se obtuvo el promedio. Se utilizó una cinta métrica marca Assist, modelo 32G-8025, con una capacidad de 8,0 m y una incertidumbre de 0,1 cm.
- *Área foliar:* a los 182 ddt se tomaron ocho hojas de cada repetición, ubicadas en la parte central de la planta. Cada muestra se sometió a análisis mediante un medidor de área foliar Modelo Li-3100C, se registró el dato en centímetros cuadrados y se calculó el promedio.
- *Diámetro del tallo:* se midió el diámetro del tallo a las cuatro plantas de cada unidad experimental a los 182 ddt, se registró el dato en milímetros y se obtuvo el promedio; se utilizó un calibrador digital milimétrico marca Mitutoyo, modelo CD, con una capacidad de 15,00 cm y una incertidumbre de 0,01 cm. La medición se realizó en la parte media del tallo de cada planta, antes de la primera bifurcación, según el descriptor 7.1.2.10.

- *Longitud del tallo*: se midió la longitud del tallo a las cuatro plantas de cada unidad experimental a los 48 ddt y se obtuvo el promedio. La medición se realizó desde la base del tallo de la planta hasta la zona donde se inicia la bifurcación de este; se utilizó una cinta métrica y se registró el dato en centímetros.

Para la evaluación del fruto, se seleccionaron 20 frutos de cada genotipo y se evaluó lo siguiente:

- *Forma del fruto*: por observación, se clasificó cada fruto por su forma en: cónico, cuadrangular o rectangular.
- *Color del fruto*: se registró el color cuando el fruto presentó un 100% de madurez.
- *Forma del ápice del fruto*: se clasificó el ápice del fruto por observación en: puntudo, romo, hundido o hundido y puntudo, según el descriptor 7.2.2.15.
- *Forma del fruto en unión con el pedicelo*: por observación, se clasificó la forma del fruto en unión con el pedicelo en: agudo, obtuso, truncado, cordado o lobulado, según el descriptor 7.2.2.13.
- *Ancho del fruto*: a cada fruto se le midió su dimensión máxima en la zona ecuatorial con un calibrador digital milimétrico, se anotó el dato en centímetros y se obtuvo el promedio.
- *Longitud del fruto*: a cada fruto se le midió su dimensión desde el extremo proximal al extremo distal, con un calibrador digital milimétrico, se anotó el dato en centímetros y se obtuvo el promedio.
- *Relación largo/ancho del fruto*: con base en los datos de longitud y ancho de cada fruto, se calculó la relación largo/ancho y se obtuvo el promedio.
- *Espesor de la pared del fruto*: se hizo un corte transversal en la zona ecuatorial del fruto, y con la ayuda de un calibrador digital milimétrico se midió el espesor de la pared en la parte más ancha, se anotó el dato en milímetros y se obtuvo el promedio.

Se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar con dos repeticiones por tratamiento. La unidad experimental estuvo constituida por dos sacos con cuatro plantas cada una, y la parcela útil se formó por las cuatro plantas ubicadas en la posición central de esta. Las variables cuantitativas (excepto el área foliar y la relación largo/ancho del fruto) se sometieron a un análisis de varianza y se utilizó la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$) para confirmar o descartar diferencias significativas entre genotipos.

Resultados y discusión

En el cuadro 2 se presentan las características morfológicas cualitativas de la planta y el fruto para los 12 genotipos evaluados.

Se determinaron dos formas diferentes de la hoja: oval (10 genotipos) y deltoide (2 genotipos). Todos los genotipos mostraron frutos con forma cónica de color rojo, excepto el Lamuyo amarillo, cuyo fruto es de color amarillo.

Se identificaron tres formas diferentes del ápice del fruto: romo (7 genotipos), puntudo (4 genotipos) y hundido (1 genotipo); las formas romo y puntudo son típicas de los genotipos con frutos de forma cónica.

Con respecto a la forma en la unión del fruto con el pedicelo, se presentaron las formas cordado (ocho genotipos) y lobulado (cuatro genotipos). Esta variable es importante, dado que en esa zona podrían acumularse productos químicos o agua en los genotipos con forma lobulado (y no en los de forma cordado), lo que puede favorecer las enfermedades y afectar así la calidad del fruto.

Cuadro 2. Características morfológicas cualitativas de la planta y el fruto para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Planta		Fruto		Forma en unión con el pedicelo
	Forma de la hoja	Forma	Color	Forma del ápice	
Cortés	Deltoide	Cónico	Rojo	Romo	Cordado
FBM-1	Oval	Cónico	Rojo	Romo	Cordado
FBM-2	Oval	Cónico	Rojo	Romo	Cordado
FBM-3	Oval	Cónico	Rojo	Romo	Cordado
FBM-7	Oval	Cónico	Rojo	Romo	Lobulado
FBM-11	Oval	Cónico	Rojo	Romo	Cordado
FBM-12	Oval	Cónico	Rojo	Romo	Cordado
Jumbo	Oval	Cónico	Rojo	Puntudo	Lobulado
Lamuyo amarillo	Deltoide	Cónico	Amarillo	Puntudo	Cordado
Lamuyo experimental	Oval	Cónico	Rojo	Puntudo	Lobulado
Tiquicia	Oval	Cónico	Rojo	Puntudo	Lobulado
V-701	Oval	Cónico	Rojo	Hundido	Cordado

La altura de la planta varió significativamente entre los genotipos (cuadro 3); el FBM-3 presentó las plantas más altas (1,71 m). Todos los materiales genéticos producidos por la Universidad de Costa Rica tuvieron valores significativamente superiores a los obtenidos por los genotipos Jumbo y Lamuyo amarillo, que presentaron el menor valor para esta variable (1,26 m).

Cuadro 3. Altura de la planta a los 209 ddt para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Altura (m)	
	FBM-3	1,71
FBM-7	1,64	ab
FBM-2	1,57	abc
FBM-12	1,57	abc
FBM-11	1,56	abcd
FBM-1	1,53	bcde
Tiquicia	1,43	bcdef
V-701	1,37	cdef
Cortés	1,37	cdef
Lamuyo experimental	1,31	def
Jumbo	1,26	f
Lamuyo amarillo	1,26	f

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

En chile dulce, se tienen informes de que la altura de la planta puede variar entre 0,49 y 2,24 m (Campos, 2009; Grijalva-Contreras et al., 2008; Jovicich et al., 1999; Jovicich et al., 2004;

Monge-Pérez, 2016; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Quesada, 2015; Reséndiz-Melgar et al., 2010); los resultados obtenidos en la presente investigación se ubican dentro de dicho rango.

Quesada (2015), al evaluar el chile dulce FBM-9 a una densidad de 1,56 plantas/m², encontró una altura de planta de 1,21 m, mientras que en el presente trabajo todos los genotipos de la Universidad de Costa Rica presentaron una altura de planta superior (entre 1,53 y 1,71 m). Esto puede deberse en parte a que se utilizó una mayor densidad de siembra en la presente investigación, lo que provoca mayor competencia por luz entre las plantas, pero también se puede atribuir al genotipo propiamente (pues el FBM-9 no fue incluido en el presente ensayo).

En el cuadro 4 se presentan los datos de área foliar de los genotipos de chile dulce evaluados; el FBM-2 fue el que presentó el mayor valor para esta característica (158,91 cm²). Los genotipos de la UCR fueron los que presentaron los mayores valores, a excepción de FBM-11 y FBM-12, que obtuvieron un valor menor que el alcanzado por el genotipo Tiquicia.

Cuadro 4. Área foliar para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Área foliar (cm ²)
FBM-2	158,91
FBM-3	155,11
FBM-7	152,32
FBM-1	141,14
Tiquicia	139,86
FBM-11	138,88
FBM-12	134,57
V-701	134,53
Lamuyo experimental	130,62
Lamuyo amarillo	120,58
Jumbo	117,35
Cortés	100,49

En el cuadro 5 se presentan los resultados del diámetro del tallo para los diferentes genotipos.

Solamente se presentaron diferencias significativas entre el genotipo Jumbo (que obtuvo el menor diámetro del tallo) y el Lamuyo amarillo y todos los materiales genéticos de la UCR.

El diámetro del tallo de la planta indica que entre mayor sea este valor, mayor es la capacidad del tallo para soportar el peso de órganos principales como ramas, flores y frutos y, por lo tanto, disminuye el riesgo de que se quiebre por un exceso de peso de la parte aérea de la planta.

Según diversas investigaciones, en chile dulce el diámetro del tallo puede variar entre 14,0 y 27,3 mm (Campos, 2009; Grijalva-Contreras et al., 2008; Jovicich et al., 1999; Moreno et al., 2011; Reséndiz-Melgar et al., 2010). En este trabajo, la mayor parte de las variedades obtuvo para esta variable un valor ubicado dentro de dicho rango, pero los genotipos Cortés, V-701 y Jumbo presentaron valores menores (entre 12,51 y 13,76 mm).

Cuadro 5. Diámetro del tallo de la planta a los 182 ddt, para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Diámetro del tallo (mm)	
FBM-3	15,83	a
FBM-12	15,79	a
Lamuyo amarillo	15,76	a
FBM-7	15,69	a
FBM-2	15,06	a
FBM-11	14,95	a
FBM-1	14,89	a
Lamuyo experimental	14,66	ab
Tiquicia	14,45	ab
Cortés	13,76	ab
V-701	13,68	ab
Jumbo	12,51	b

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

En el cuadro 6 se presentan los resultados con respecto a la variable longitud del tallo. El valor más alto lo obtuvo el genotipo Jumbo (36,88 cm) y el más bajo el Cortés (25,75 cm).

Cuadro 6. Longitud del tallo de la planta a los 48 ddt para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Longitud del tallo (cm)	
Jumbo	36,88	a
FBM-11	33,00	ab
FBM-1	32,38	abc
FBM-7	31,75	abcd
FBM-12	31,38	bcd
Lamuyo experimental	30,38	bcd
FBM-3	30,38	bcd
Tiquicia	30,25	bcd
Lamuyo amarillo	29,00	bcd
FBM-2	28,50	cd
V-701	26,13	d
Cortés	25,75	d

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

Moreno et al. (2011), al evaluar 13 híbridos de chile dulce en invernadero, a una densidad de 6,0 plantas/m², encontraron que la longitud del tallo varió entre 19,4 y 33,0 cm. En el presente trabajo, el genotipo Jumbo fue el único que obtuvo un valor superior a dicho rango.

En el cuadro 7 se presentan los resultados para el ancho del fruto de los genotipos; el que presentó el menor valor fue Tiquicia (4,97 cm), mientras que el mayor lo obtuvo FBM-2 (6,19 cm).

En chile dulce, diversos investigadores han encontrado que el ancho del fruto puede variar entre 4,14 y 10,2 cm (Aranguiz, 2002; Dasgan & Abak, 2003; Hutton & Handley, 2007; Macua et al., 2010; Mahmoud & El-Eslamboly, 2015; Montaña & Belisario, 2012; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Sharma et al., 2010; Shaw & Cantliffe, 2002). Los valores obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de dicho rango.

Cuadro 7. Ancho del fruto para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Ancho del fruto (cm)	
FBM-2	6,19	a
Cortés	6,12	a
FBM-12	5,98	a
V-701	5,94	a
FBM-7	5,92	a
FBM-1	5,91	a
FBM-11	5,83	ab
FBM-3	5,78	ab
Jumbo	5,73	ab
Lamuyo amarillo	5,56	abc
Lamuyo experimental	5,19	bc
Tiquicia	4,97	c

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

En el cuadro 8 se presentan los resultados para la longitud del fruto de los genotipos; el Lamuyo amarillo alcanzó el mayor valor para esta variable (19,43 cm) y este resultado fue significativamente superior al obtenido por todos los demás genotipos. Entre los materiales genéticos de la UCR, el FBM-7 mostró diferencias significativas con respecto a FBM-2 y FBM-11 para esta característica.

Los genotipos cuya longitud promedio de fruto fue menor a 12 cm (Tiquicia, FBM-11 y FBM-2) muestran limitaciones para obtener frutos de primera calidad, dado que esa es la medida mínima de longitud para dicha categoría de calidad (J. Monge-Pérez, datos sin publicar).

Según diversas investigaciones, en chile dulce la longitud el fruto puede variar entre 5,0 y 20,9 cm (Aranguiz, 2002; Dasgan & Abak, 2003; Hutton & Handley, 2007; Macua et al., 2010; Mahmoud & El-Eslamboly, 2015; Montaña & Belisario, 2012; Moreno et al., 2011; Paunero, 2008; Sharma et al., 2010; Shaw & Cantliffe, 2002). Los resultados obtenidos en la presente investigación se ubican dentro de este rango.

Cuadro 8. Longitud del fruto para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Longitud del fruto (cm)	
Lamuyo amarillo	19,43	a
Cortés	14,08	b
Jumbo	13,62	bc
FBM-7	13,31	bcd
V-701	13,00	bcde
Lamuyo experimental	12,92	bcde
FBM-1	12,81	cde
FBM-3	12,24	def
FBM-12	12,11	def
Tiquicia	11,41	f
FBM-11	11,39	f
FBM-2	11,24	f

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

En el cuadro 9 se presentan los resultados para la relación largo/ancho del fruto. El genotipo Lamuyo amarillo presentó el mayor valor para esta variable, debido principalmente a que es el que mostró la mayor longitud de fruto. Los materiales genéticos de la UCR y el V-701 fueron los que obtuvieron los menores valores para esta característica.

Cuadro 9. Relación largo/ancho del fruto para los 12 genotipos de chile dulce

Genotipo	Relación largo/ancho del fruto
Lamuyo amarillo	3,49
Lamuyo experimental	2,49
Jumbo	2,38
Cortés	2,30
Tiquicia	2,30
FBM-7	2,25
V-701	2,19
FBM-1	2,17
FBM-3	2,12
FBM-12	2,03
FBM-11	1,95
FBM-2	1,82

En el cuadro 10 se presentan los resultados de espesor de la pared del fruto; los datos variaron entre 4,06 mm (Lamuyo experimental) y 5,44 mm (Cortés). Los genotipos Tiquicia y Cortés mostraron valores estadísticamente superiores con respecto a FBM-7 y Lamuyo experimental para esta variable; los materiales genéticos de la UCR mostraron valores relativamente bajos y no presentaron diferencias estadísticas entre ellos.

En Chile dulce, se tienen informes de que el espesor de la pared del fruto puede variar entre 3,30 y 8,93 mm (Aranguiz, 2002; Hutton & Handley, 2007; Macua et al., 2010; Mahmoud & El-Eslamboly, 2015; Paunero, 2008; Sharma et al., 2010; Shaw & Cantliffe, 2002); los datos obtenidos en la presente investigación se ubican dentro de este rango.

Cuadro 10. Espesor de la pared del fruto para los 12 genotipos de Chile dulce

Genotipo	Espesor de la pared del fruto (mm)	
Cortés	5,44	a
Tiquicia	4,92	ab
Jumbo	4,81	abc
V-701	4,68	bc
FBM-2	4,49	bc
Lamuyo amarillo	4,46	bc
FBM-11	4,41	bc
FBM-12	4,26	bc
FBM-1	4,24	bc
FBM-3	4,18	bc
FBM-7	4,13	c
Lamuyo experimental	4,06	c

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

Esta característica es importante a nivel del comportamiento poscosecha del Chile dulce, pues conforme aumenta el espesor de la pared del fruto, mejora su firmeza (Ilic et al., 2012, citados por Tsegay et al., 2013).

Conclusiones y recomendaciones

La caracterización morfológica y agronómica de materiales genéticos de plantas es un proceso necesario para generar información relevante tanto para los productores como para los fitomejoradores. Con estos datos, cada productor interesado puede tomar las mejores decisiones con respecto a cuál genotipo sembrar, según el mercado al que se quiere dirigir la producción, el rendimiento esperado, la calidad requerida y otras características.

Igualmente, esta caracterización es muy importante para orientar a los fitomejoradores con respecto a la expresión fenotípica de los diferentes materiales genéticos, y definir su trabajo futuro de selección y generación de genotipos.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que varias de las características evaluadas en esta investigación son cuantitativas, por lo que se ven influenciadas por factores ambientales y de manejo. Por lo tanto, los datos obtenidos deben tomarse como preliminares, y se recomienda evaluar estos genotipos también bajo otras condiciones ambientales, con el fin de tener un mejor criterio en cuanto a su comportamiento productivo.

Se recomienda aumentar el número de repeticiones en futuras investigaciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Universidad de Florida y la Universidad de Costa Rica para la realización de este trabajo. Asimismo, agradecen la colaboración de Jendry Portilla y Cristina Arguedas, así como de Jorge Díaz, Julio Vega y Carlos González en el trabajo de campo y de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al inglés.

Bibliografía

- Ado, I. & Samawira, I. (1987). Estimates of genetic parameters of yield components in peppers (*Capsicum annuum*). *East African Agricultural and Forestry Journal* (Kenia), 52(3), 136-140.
- Alonso, R., Ponce, P., Quiroga, R., Zambrano, B., Zuart, J., Saucedo, H., Rosales, M., Moya, C. & Álvarez, M. (2005). Caracterización y conservación *in situ* del timpinche (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) en la región Frailesca de Chiapas, México. *Memorias del XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas* (pp. 328-331). Chihuahua, México.
- Aranguiz, M.J. (2002). *Efecto de tres sistemas de poda sobre el rendimiento, calidad y asimilados en dos cultivares de pimiento (Capsicum annuum var. grossum L.) producidos orgánicamente bajo invernadero*. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo. Talca, Chile: Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca.
- Campos, M. (2009). *Efecto de la inoculación de sustratos con Trichoderma spp. sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (Capsicum annuum L.), bajo ambiente protegido*. Tesis para optar por el título de Ingeniera Agrónoma. San Carlos, Costa Rica: Sede Regional San Carlos, Tecnológico de Costa Rica.
- Dasgan, H.Y. & Abak, K. (2003). Effects of plant density and number of shoots on yield and fruit characteristics of peppers grown in glasshouses. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 27, 29-35.
- Engels, J. (1980). *Sistemas de información para centros de recursos genéticos*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Eshbaugh, W.H. (1975). Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 102, 396-403.
- Grijalva-Contreras, R.L., Macías-Duarte, R. & Robles-Contreras, F. (2008). Productividad y calidad de variedades y densidades de chile bell pepper bajo condiciones de invernadero en el Noroeste de Sonora. *Biotecnia* (México), 10(3), 3-10.
- Hutton, M.G. & Handley, D.T. (2007). Bell pepper cultivar performance under short, variable growing seasons. *Hort Technology*, 17(1), 136-141.
- IPGRI. (1995). *Descriptores para Capsicum (Capsicum spp.)*. Roma: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Taipei: Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación Relativos a los Vegetales, Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Jiménez, U., Campos, H., Vicente, J., Marín, S., Barrantes, L. & Carrillo, M. (2007). *Agrocadena regional: cultivo del chile dulce*. Grecia, Alajuela, Costa Rica: Dirección Regional Central Occidental, Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J. & Hochmuth, G.J. (1999). Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida. En K. D. Batal (Ed.), *Proceedings 28th National Agricultural Plastics Congress, May 19-22* (pp. 184-190). Tallahassee, Florida, Estados Unidos.

- Jovicich, E., Cantliffe, D.J. & Stoffella, P.J. (2004). Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container, and trellis system. *Hort Technology*, 14(4), 507-513.
- Laborde, J.A. & Pozo, O. (1982). *Presente y pasado del chile en México*. México: SARH-INIA. Publicación especial No. 85.
- Macua, J.I., Lahoz, I., Calvillo, S. & Orcaray, L. (2010). Pimientos California y Lamuyo; variedades y colores campaña 2009. *Navarra Agraria*. Enero-Febrero, pp. 32-36.
- Mahmoud, A.M.A. & El-Eslamboly, A.A.S.A. (2015). Production and evaluation of high yielding sweet pepper hybrids under greenhouse conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 15(4), 573-580.
- Martín, N. & González, W. (1991). Caracterización de accesiones de chile (*Capsicum* spp.). *Agronomía Mesoamericana*, 2, 31-39.
- Monge-Pérez, J.E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29(2), 125-136.
- Montaño, N.J. & Belisario, H.D.C. (2012). Comportamiento agronómico de siete cultivares de pimentón (*Capsicum annuum* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1), 32-44.
- Moreno, E.C., Mora, R., Sánchez, F. & García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(edición especial 2), 5-18.
- Paunero, I. (2008). *Evaluación de cultivares de pimiento 2006/07*. Serie Informe Frutihortícola (272), 21. San Pedro, Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Obtenido de http://inta.gov.ar/documentos/evaluacion-de-cultivares-de-pimiento-2006-07/at_multi_download/file/ip_0706.pdf
- Quesada, G. (2015). Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 25-36.
- Reséndiz-Melgar, R.C., Moreno-Pérez, E.C., Sánchez-Del Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J.E. & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 223-229.
- Sharma, V.K., Semwal, C.S. & Uniyal, S.P. (2010). Genetic variability and character association analysis in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticulture and Forestry*, 2(3), 58-65.
- Shaw, N.L. & Cantliffe, D.J. (2002). Brightly colored pepper cultivars for greenhouse production in Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 115, 236-241.
- Sitthiwong, K., Sukprakarn, S., Okuda, N. & Kosugi, Y. (2005). Classification of pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions by RAPD. *Analysis Biotechnology*, 4(4), 305-309.
- Tsegay, D., Tesfaye, B., Mohammed, A., Yirga, H. & Bayleyegn, A. (2013). Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under passive refrigeration system. *Internation Journal for Biotechnology and Molecular Biology Research*, 4(7), 98-104.

Metodología de medición de la huella de carbono para edificaciones en Costa Rica y su aplicación en el módulo habitacional *Trópika*

Methodology for the quantification of the carbon footprint of buildings in Costa Rica and its application on the residential module *Trópika*

Silvia Solano-Quesada¹, Edgar Ortiz-Malavassi²

Fecha de recepción: 28 de agosto de 2015

Fecha de aprobación: 6 de enero de 2016

Solano-Quesada, S; Ortiz-Malavassi, E. Metodología de medición de la huella de carbono para edificaciones en Costa Rica y su aplicación en el módulo habitacional *Trópika*. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 73-84.

DOI: 10.18845/tm.v29i3.2889



¹ Arquitecta, Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción del Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: silviae.sq@gmail.com

² PhD. Ingeniero Forestal, Doctor en Manejo de Recursos Forestales. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Costa Rica. Correo electrónico: eortiz@itcr.ac.cr

Palabras clave

Análisis de ciclo de vida; cambio climático; carbono-neutralidad; construcción sustentable; de la cuna a la construcción; gases de efecto invernadero; huella de carbono de producto; Decatlón Solar Europa 2014.

Resumen

Se analizaron metodologías internacionales de medición de huella de carbono para productos, con el fin de identificar la que mejor se ajusta al sector de la construcción costarricense. Se concluyó que la metodología ISO/TS 14067:2013 *Carbon Footprint of products-Requirements and guidelines for quantification and communication* es la que mejor se adapta al contexto nacional, y se ajusta para su utilización en procesos constructivos en el país. Usando esta adaptación se diseñó una hoja de cálculo para medir la huella en edificaciones de Costa Rica, que se ha llamado *Construye Neutral*, que se puede configurar para usarla en la región latinoamericana.

La metodología seleccionada y la herramienta diseñada se aplicaron al caso del módulo habitacional *Trópika*. Este es un prototipo de vivienda diseñado y construido por estudiantes del Tecnológico de Costa Rica para participar en la competencia internacional sobre diseño y construcción sostenible, Solar Decathlon Europe 2014.

Se elaboró un análisis de ciclo de vida parcial, *de la cuna a la construcción*, para *Trópika*. La hoja de cálculo preparada estimó un total de 28 ton CO₂e de carbono incorporado en la vivienda de 81 m² de construcción, o 345 kg CO₂e por m² de superficie útil. La fijación de carbono fue de 15 ton CO₂e y el balance final de emisiones de 13 ton CO₂e. Estos resultados fueron validados comparándolos con los obtenidos en otras herramientas como SIMAPro V.7.3.3, así como datos de la literatura.

Keywords

Carbon footprint of products; carbon neutrality; climate change; cradle to construction; greenhouse gases; life cycle analysis; Solar Decathlon Europe 2014; sustainable construction.

Abstract

International methodologies for measuring carbon footprint of products have been analyzed in order to identify which is the best suited for the Costa Rican building sector. The ISO / TS 14067: 2013 *Carbon Footprint of products-Requirements and guidelines for quantification and communication*, have been selected and tailored to better fit conditions Costa Rica. A spreadsheet tool to calculate the carbon footprint of any building project in the local context or regionally (if tailored) was designed and called *Construye Neutral*.

Both, the selected methodology and the tool have been applied to *Trópika*, a habitation module designed and built for the Solar Decathlon Europe 2014 by students of the Tecnológico de Costa Rica.

A partial LCA, from *cradle to construction* was conducted for the *Trópika* house unit. The estimated embodied carbon was 28 tons CO₂e for the 81 m² house, or 345 kg CO₂e per m² of useable floor area. Carbon fixation was 15 tons of CO₂e, and the final balance was 13 tons of CO₂e. These results were validated by comparing them with those obtained in other tools such as SimaPro V7.3.3 as well as data in literature.

Introducción

Según el *Quinto Informe* del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la influencia del ser humano en el sistema climático es clara y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero (GEI) son las más altas de la historia. El documento indica que “existen múltiples vías de mitigación que pueden limitar el calentamiento a menos de 2 °C con respecto a los pre-niveles industriales. Estas vías requerirían reducciones de emisiones sustanciales en los próximas décadas y cerca de cero emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero de larga vida para el final del siglo” (IPCC, 2014).

Frente a este reto global, en 2007 Costa Rica declaró su meta de llegar a ser carbono-neutral para el año 2021. La Estrategia Nacional de Cambio Climático describe este concepto como “la práctica de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la fijación de carbono atmosférico en los sistemas terrestres, de tal manera que resulte un balance neto igual a cero” (MINAET, 2009). Al ser una meta que busca el establecimiento de una economía baja en emisiones, todos los sectores, organizaciones y empresas del país deben iniciar la implementación de estrategias que les permitan contribuir al logro de estos objetivos.

En el sector de la construcción, las emisiones de GEI producidas por el consumo energético de los edificios en funcionamiento son las que generan mayor impacto negativo para la atmósfera (van Gorkum, 2010). Estudios realizados en Inglaterra indican que en el ciclo de vida de un edificio en ese país, la etapa de uso representa cerca del 83% de las emisiones, la construcción de la obra el 17% y el mantenimiento el 0,4% (Department for Business, Innovation & Skills, 2010). Las emisiones de CO₂ se cuantifican generalmente en la etapa operativa y las medidas de reducción se llevan a cabo en la vida útil del edificio. Pocas veces se trabaja en esta problemática de manera integral desde el diseño e inicio de la concepción de la obra.

La industria de la construcción requiere de la extracción y fabricación de grandes cantidades de materiales. Esto se convierte a la vez en consumo de energía y en emisiones contaminantes de la atmósfera. Cada material de construcción debe ser extraído, procesado y transportado a su lugar de uso, por lo que se considera que los materiales tienen energía y dióxido de carbono incorporado (Hammond & Jones, 2008). Además, se consume energía durante el proceso constructivo y se generan residuos de construcción que al final se convertirán en emisiones hacia la atmósfera.

Existen metodologías específicas a nivel internacional que permiten inventariar y cuantificar los GEI emitidos por las edificaciones: las corporativas y las de productos (Lemaignan & Wilmotte, 2013). Las primeras se centran en la operación de la organización, mientras que las segundas se centran en el análisis de productos o servicios e incluyen elementos de su ciclo de vida. Cuando el interés es conocer la huella de carbono generada por la construcción de una edificación, pensándose esta como un producto final que se entrega a un cliente determinado, se deben utilizar las metodologías relacionadas con productos.

Estos procedimientos internacionales aún no han sido ajustados al contexto del sector de la construcción costarricense. En el presente trabajo se analizaron estas metodologías con el fin de determinar cuál de ellas se puede adaptar a actividades de construcción en Costa Rica, y poder calcular un *factor de emisión en kg CO₂e por m² de construcción*, es decir, la huella de carbono incorporada en una edificación. Se analizaron cualitativa y cuantitativamente, y se buscó hacer una adaptación al contexto nacional para diseñar una hoja de cálculo para la medición de la huella de carbono incorporada en las edificaciones en Costa Rica.

Materiales y métodos

Se evaluaron tres metodologías internacionales para el análisis del ciclo de vida (ACV) de las emisiones de GEI de productos y servicios. El diseño, la escala y los procesos constructivos de las edificaciones, así como el manejo del sitio de construcción, varían ampliamente entre proyectos, países y zonas geográficas. Por esta razón, es importante establecer los criterios bajo los cuales se delimita su aplicación.

Las metodologías identificadas fueron: a) *PAS 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*, b) *GHG Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* y c) *ISO/TS 14067:2013. Greenhouse Gases. Carbon footprint of products: Requirements and guidelines for quantification and communication*.

PAS 2050:2011 es de acceso público. Esta metodología busca una mejor comprensión de las emisiones derivadas de las cadenas de suministros. Su objetivo principal es proporcionar una base común para cuantificar, informar y desarrollar programas significativos de reducción de emisiones (British Standards Institute, 2011).

GHG Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard también es de acceso público. Su misión es desarrollar estándares o herramientas aceptadas internacionalmente para contabilizar y reportar emisiones de GEI que permitan alcanzar una economía mundial baja en emisiones (Greenhouse Gas Protocol, 2011). Se fundamenta en el enfoque de ciclo de vida, serie ISO 14040 (Chomkhamsri & Nathan, 2011). Permite centrar esfuerzos en las mayores oportunidades de reducción y responder con información ambientalmente acertada (Lemaignan & Wilmotte, 2013).

La metodología *ISO/TS 14067:2013* no es de acceso público. Detalla los principios, requisitos y lineamientos para la cuantificación y comunicación de la huella de carbono de productos (CFP), en su ciclo de vida completo o parcial. Se basa en estándares ISO establecidos para el ACV (ISO 14040 y 14044), para etiquetado y declaración ambiental (ISO 14020, 14024 y 1025). La compensación de emisiones está afuera del alcance de esta metodología (ISO, 2013).

Se establecieron 10 criterios de aplicabilidad que se muestran en el cuadro 1. Estos delimitan las metodologías dentro del contexto nacional, específicamente en el sector de la construcción. La evaluación se realizó según el criterio de experto y se asignó un puntaje de 1 a 5 a cada variable seleccionada en la evaluación, en donde 5 representa el valor más alto. Entre más bajo sea el valor asignado, menor es el grado de relación entre la variable y la metodología evaluada. Por ejemplo, para la variable "Ámbito global", un valor entre 0 a 1 indicaría que esta no es aplicable en el ámbito internacional, un valor entre 2 y 3 indicaría que no es global pero que se podría adaptar a otros países y un valor entre 4 a 5 significaría que es de carácter internacional. Se graficaron los resultados obtenidos usando gráficos de tela de araña. Se escogió la metodología con mayor puntuación y se recomendó su aplicación en el estudio de caso.

Con el fin de dar practicidad a la solución de los problemas, se considera además que la metodología debería implementarse dentro del siguiente escenario de aplicabilidad:

1. Legalmente no existe cambio de uso de suelo. La Ley Forestal (No. 7575) de Costa Rica lo prohíbe en su artículo 19.
2. El inventario, cuantificación y reporte de emisiones será para determinar la huella de carbono parcial de la edificación.
3. La normativa nacional INTE 12-01-06:2011 debe ser complementaria pues permitirá cuantificar las emisiones durante la vida útil de las edificaciones.

4. El escenario de fin de vida útil de la edificación no será contemplado. Esto agregaría complejidad en una primera etapa en la que se busca promover una aplicación práctica en el ámbito de la construcción nacional.
5. Con el fin de ser conservadores en la cuantificación de emisiones, se asume que los residuos generados en obra se tratarán como desechos e irán al relleno sanitario más cercano al sitio de construcción.
 - 5.1. La premisa es diseñar para construir eficientemente, consumir la menor cantidad de material posible, reducir el desperdicio y la generación de residuos sólidos a través de prácticas de reuso y reciclaje de materiales.
 - 5.2 El desperdicio de materiales que se genera en proyectos sostenibles ronda entre 5% y 10% del peso según el material (Waste and Resources Action Programme, 2013). Si no se puede comprobar este porcentaje de desperdicio, se estima como igual al 15% del peso total de los materiales de construcción, el cual corresponde al desperdicio del material que se calcula comúnmente a nivel internacional (Barrett & Wiedmann, 2007) y en Costa Rica.
 - 5.2 Se evita la división de la carga ambiental de los residuos del sistema. Los residuos generados se clasificarán como desechos que irán al relleno sanitario. Estas emisiones deben ser cuantificadas y reportadas como si sucedieran en el momento de la evaluación (ISO; 2013).
6. Se deben incluir como mínimo en el inventario y cuantificación todas las emisiones directas e indirectas relacionadas con los materiales, su transporte al sitio de construcción, la energía y el combustible utilizados durante el proceso constructivo, los residuos generados y su traslado al relleno sanitario.

Cuadro 1. Criterios de Aplicabilidad utilizados en la evaluación de metodologías

Criterio	Concepto
1. Enfoque ACV	La aplicación del enfoque de análisis de ciclo de vida
2. Ámbito global	Se evalúa si es específica para un país o internacional
3. Credibilidad en sector de la construcción nacional	Conocimiento de las metodologías en el sector de la construcción costarricense
4. Aplicabilidad en sector de la construcción nacional	Factibilidad de aplicar la metodología en el sector de la construcción costarricense
5. Reporte y comunicación	Contempla la comunicación y el reporte al consumidor final
6. Guía para el usuario	Documento para guiar al usuario en los procedimientos
7. Unificación de sistemas	Su función es estandarizar normas a nivel internacional
8. Nivel de significancia (claridad en definición)	Especifica el porcentaje de emisiones que debe incluirse dentro de los objetivos y alcances del estudio
9. Calidad de datos	Adopta los lineamientos de la ISO 14044
10. Generación de electricidad renovable/compra de energía verde	Aborda específicamente las cuestiones energéticas y la doble contabilización en términos de energías renovables

Una vez seleccionada la metodología y establecidos los criterios de aplicabilidad, se procedió a emplearla en el estudio de caso y hacer un informe de resultados. Se desarrolló una hoja de cálculo en Excel parametrizada que se denominó *Construye Neutral*, que es adaptable a diferentes proyectos de construcción en el contexto nacional y regional. Esta permite inventariar y cuantificar las emisiones en términos de CO₂e, así como la fijación de carbono por elementos de madera. La hoja de cálculo *CM Table* facilitada por la organización Solar Decathlon Europe 2014, sirvió de base para la generación de esta herramienta.

Descripción del estudio de caso

El módulo habitacional *Trópika* es un prototipo de vivienda inteligente, autosuficiente energéticamente y de bajo consumo. Su sistema constructivo es modular y prefabricado. Fue diseñado y construido para la competencia internacional por la organización Solar Decathlon Europe 2014.

Su estructura principal y la secundaria se hicieron en madera laminada de melina (*Gmelina arborea*) costarricense con certificación FSC Forest Stewardship Council. La estructura interna de cerramientos, así como elementos arquitectónicos varios, se construyeron en madera de pino (*Pinus* sp.) costarricense. En cuanto a los cerramientos exteriores y el acabado del piso, fueron prefabricados en paneles de madera de teca certificada FSC, rescatada de los residuos de procesos industriales de una empresa maderera del país. Las paredes interiores son de fibrocemento y *plywood* de pochote nacional y el entrepiso es un panel estructural compuesto por tres capas de madera. Se instaló aislamiento térmico acústico de fibra mineral (*rockwool*) en paredes y en la cubierta de acero laminado.

No utiliza aire acondicionado, solamente técnicas pasivas de ventilación natural, mientras que la energía solar es su principal fuente energética. El área total de construcción es de 108 m², de los cuales 53 m² (*lobby*, terraza y rampa de acceso) se consideran como media área.

Resultados

Los resultados de la evaluación de las tres metodologías de cálculo de huella de carbono de productos se presentan en el cuadro 2. La metodología *ISO/TS 14067:2013* es la mejor para su adaptación al contexto nacional pues obtuvo 45 puntos de un máximo de 50, seguida por la *GHG Protocol*, con 37 puntos.

La metodología *PAS 2050:2011* fue desarrollada para Inglaterra, no es de ámbito global aunque se aplica internacionalmente. Su principal debilidad es que no se conoce en el contexto nacional, específicamente en el sector de la construcción. No incluye el tema de la comunicación ni el reporte de datos. Entre sus fortalezas se encuentra que ofrece guías didácticas para la recolección de datos del inventario y el análisis de la incertidumbre (fig. 1).

GHG Protocol Product 2011 no incluye el tema de la producción de energía verde y no es exigente en la calidad de los datos. Es reconocida a nivel internacional, no así dentro del sector de la construcción costarricense. Entre sus fortalezas están que contempla la comunicación del reporte final, que es de ámbito global y que ofrece guías adicionales al usuario (fig. 2).

La metodología *ISO/TS 14067:2013* tiene como debilidades que no ofrece guías adicionales para el desarrollo de inventarios y no establece claramente el nivel de significancia. Como fortaleza está que las normas internacionales ISO buscan promover la armonización entre normativas y estándares y son reconocidas y utilizadas ampliamente a nivel internacional y nacional. Lo anterior permite la credibilidad y aplicabilidad en el sector de la construcción costarricense (ver fig. 3).

Estudio de caso: Aplicación al módulo habitacional Trópika

Por medio de la metodología *ISO/TS 14067:2013* adaptada al contexto costarricense se construyó la hoja de cálculo *Construye Neutral*, y se procedió a calcular la huella de carbono del módulo habitacional *Trópika*. El objetivo del estudio de caso fue realizar el análisis de ciclo de vida parcial de este módulo habitacional y determinar el impacto potencial sobre el calentamiento global de los procesos de adquisición de materiales, construcción de obra y distribución, generación de desechos y su correspondiente traslado al relleno sanitario. Las etapas de uso del edificio y el fin de su vida útil o deconstrucción estuvieron fuera del objeto de estudio. El alcance del estudio incluyó la contabilización de las emisiones directas e indirectas dentro del proceso.

Cuadro 2. Relación de variables y metodologías

Variables	PAS 2050:2011	ISO/TS 14067:2013	GHG Protocol Product 2011
1. Enfoque ACV	5	5	5
2. Ámbito global	2	5	5
3. Credibilidad en sector construcción	1	5	3
4. Aplicabilidad en sector construcción	4	4	4
5. Reporte y comunicación	0	5	5
6. Guía para el usuario	5	3	4
7. Capacidad de unificación de sistemas	3	5	3
8. Nivel de significancia (claridad en definición)	5	3	5
9. Calidad de datos (ISO 14044)	5	5	3
10. Generación de electricidad renovable/compra de energía verde	5	5	0
TOTAL	35	45	37

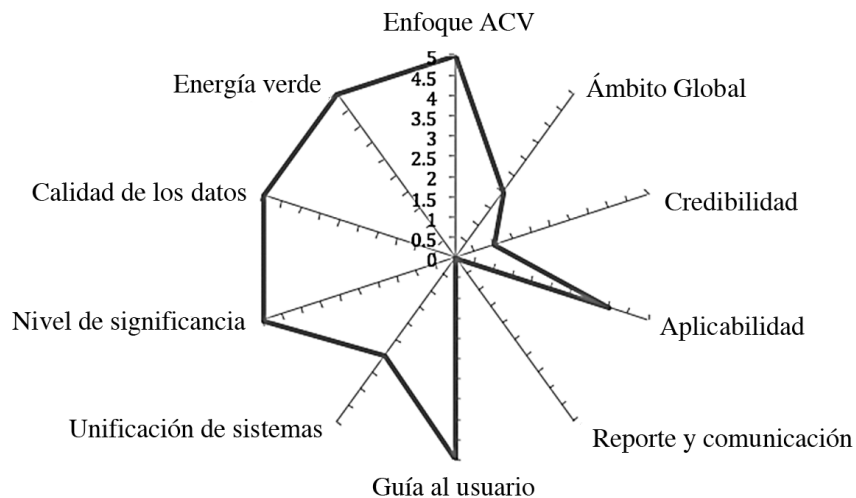


Figura 1. Resultados de la evaluación de la metodología *PAS 2050:2011*

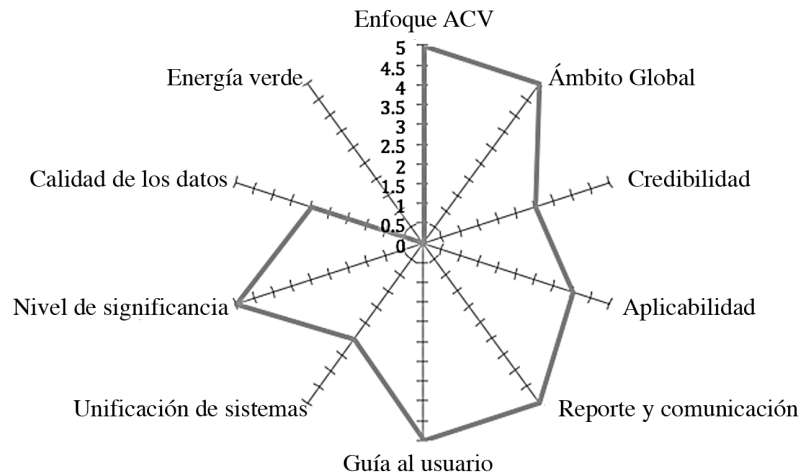


Figura 2. Resultados de la evaluación de la metodología *GHG Protocol Product 2011*

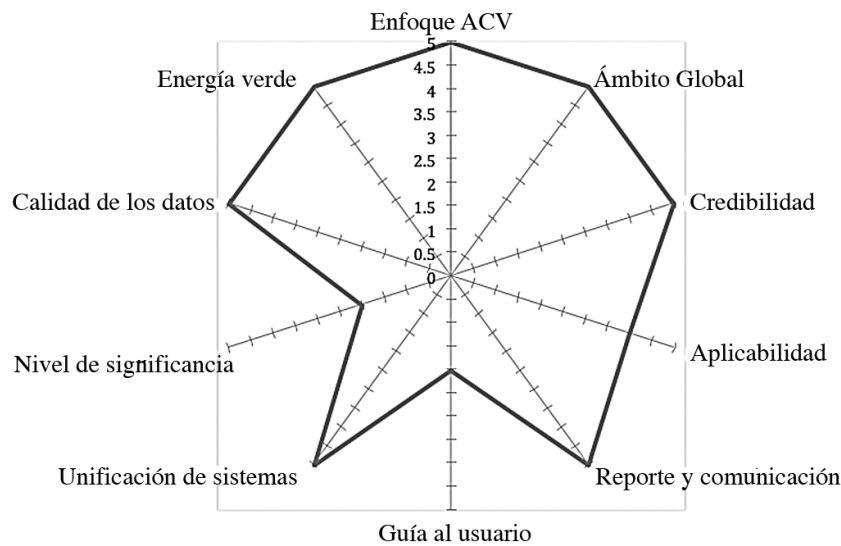


Figura 3. Metodología *ISO/TS 14067:2013* con relación a las variables analizadas

La unidad funcional se definió como el módulo habitacional constituido por la envolvente térmica, la estructura primaria, la estructura secundaria y el área construida exterior, con un total de 81 m² de construcción.

Los factores de emisión utilizados se obtuvieron en primera instancia de datos nacionales; en segundo lugar, se utilizaron fuentes secundarias como referencias bibliográficas y bases de datos internacionales (*benchmarking*) como Inventory of Carbon and Energy (ICE) Version 2.0, de Bath University.

Los resultados indicaron que el carbono emitido por el módulo habitacional para los límites establecidos fue de 28 toneladas de CO₂e, lo que corresponde a 350 kg CO₂e por m² de construcción. Los materiales de construcción representaron el 80% de la huella de carbono total de la edificación y generaron 22,5 ton CO₂e. Los desechos de construcción generaron 3,31 ton CO₂e (12%), el transporte de materiales al sitio de construcción 1,86 ton CO₂e (7%) y

el consumo de combustibles en obra 0,62 ton CO₂e (2,20%). El transporte de desechos hasta el relleno sanitario generó 6 kg CO₂e y el consumo eléctrico por el uso de herramientas e iluminación nocturna 0,08 kg CO₂e.

El 50% de los materiales de construcción fue madera de melina, teca o pino. La madera representó el 53% del peso total del módulo, los metales el 21%, los minerales 14% y los plásticos 6%. Los metales generaron el 39% de las emisiones de GEI, seguidos por la madera, con el 22%.

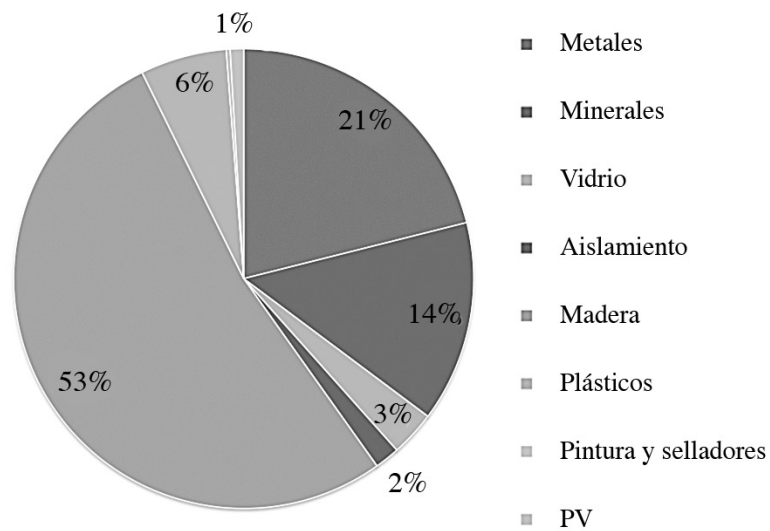


Figura 4. Relación de porcentaje de masa (kg) entre los distintos materiales de construcción

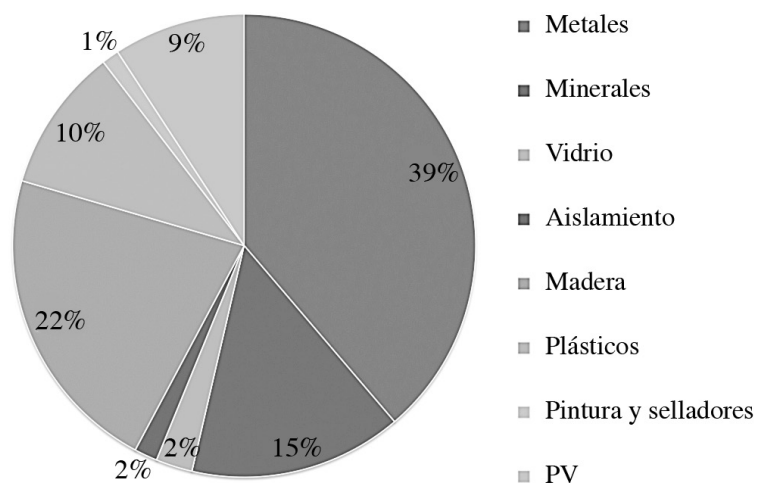


Figura 5. Porcentaje según aporte de emisiones de GEI (kg CO₂e) por categoría de material

De manera anexa al inventario de emisiones, se realizó la cuantificación de carbono fijado a partir de la biomasa acumulada en la edificación. El resultado final indicó que la fijación de carbono fue de -15 ton CO₂e y el balance final de emisiones de 13 ton CO₂e.

Análisis de sensibilidad

Los resultados generados por medio de la hoja de cálculo *Construye Neutral* fueron validados mediante su comparación con los obtenidos con *software* especializado y otras calculadoras. Los datos constructivos de *Trópika* se introdujeron en el *software* para ACV llamado SimaPro 7.3.3, el cual utiliza datos de emisiones de Eco Invent versión 3.0. El proyecto se modeló para el ciclo de vida parcial con respecto a un único impacto ambiental, el Cambio Climático, método IPCC 2007. El resultado obtenido de 16 ton CO₂e es un balance entre las emisiones generadas y la fijación del CO₂ (ver cuadro 3).

Se ingresaron los datos constructivos de *Trópika* en dos calculadoras libres: Build Carbon Neutral y Carbon Calculator, las cuales tienen un nivel de precisión de (+-) 25%. El resultado fue de 246 kg CO₂e por m² y de 290 kg CO₂e por m² de construcción, respectivamente.

Además, se compararon los resultados con datos de la literatura. Se encontró que la huella de carbono de *Trópika* es menor en comparación a la media de 403 kg CO₂e por m² de Hammond y Jones (2008), y a la de un modelo de vivienda en madera de Monahan y Powell (2010) con 405 kg CO₂e por m².

Cuadro 3. Comparación del balance de emisiones según la hoja de cálculo *Construye Neutral* y el *software* SimaPro

Herramienta Ton CO ₂ e		Resultados
<i>Construye Neutral</i>	Balance total	13
<i>Software</i> SimaPro	Balance total	16

Cuadro 4 Comparación del cálculo de emisiones según la hoja de cálculo *Construye Neutral* con otras calculadoras y estudios de caso

Herramienta	Fuente	Resultados	
		Ton CO ₂ e	Kg CO ₂ e/m ²
<i>Construye Neutral</i>	Diseñada en el estudio	28	349
Calculadoras internet	Build Carbon Neutral	20	246
	Carbon Calculator	23,5	290
Casos en la literatura	Hammond & Jones	-	403
	Monahan & Powell	35	405

En cuanto a los estudios de caso en la literatura, Hammond y Jones (2008) establecen un promedio de 403 kg CO₂ por m² en 14 casos en Inglaterra. Cuantifican una amplia variedad de materiales y utilizan la base de datos abierta Inventory of Carbon and Energy (ICE) Version 2.0, que fue elaborada por ellos mismos, y es importante señalar hoja de cálculo *Construye Neutral*, también utiliza esa misma base de datos de emisiones.

Monahan y Powell (2010) analizan el carbono incorporado de una casa con un área de 83 m² en tres diferentes escenarios constructivos en Inglaterra con límites establecidos “de la cuna al sitio de construcción” (ciclo de vida parcial). El primer escenario es una casa de bajo consumo energético, sistema constructivo modular, marcos de madera prefabricados y cerramientos en madera, similar al caso de estudio *Trópika*. Este escenario produjo un total de 405 kg CO₂ por m² de construcción.

Conclusiones y recomendaciones

El estudio realizado permite comprobar que las metodologías internacionales de medición de huella de carbono de producto se pueden adaptar a los procesos constructivos en el contexto costarricense, a través del establecimiento de criterios de aplicabilidad que delimiten el análisis y contextualicen el problema.

El análisis de metodologías internacionales permitió seleccionar la ISO/TS 14067:2013 *Carbon Footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication*. Esta fue implementada de manera adecuada en el análisis de huella de carbono del módulo habitacional *Trópika* desde un enfoque de ACV parcial.

La hoja de cálculo *Construye Neutral* diseñada en este estudio, así como la adaptación de la metodología ISO/TS 14067:2013 al contexto nacional de la construcción, se validaron a través de su aplicación en el estudio de caso y un análisis de sensibilidad. Este comprobó que los resultados obtenidos fueron equivalentes y comparables con la literatura y con los datos generados por otras herramientas.

En cuanto a la implementación de la metodología para la cuantificación de la huella de carbono, se recomienda gestionar y promover en las universidades y entes nacionales relacionados con el sector construcción el análisis y la aplicación de herramientas sistemáticas y procedimientos adecuados, como la especificación técnica internacional ISO/TS 14067:2013 *Carbon Footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication*. Todo ello con el fin de impulsar el avance del sector construcción hacia el desarrollo de proyectos sustentables bajos en huella de carbono, con enfoque de ciclo de vida y generar datos nacionales comparables entre sí.

Agradecimientos

Se agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT) y al Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), por el aporte brindado para realizar estos estudios.

Bibliografía

- Barrett, J. & Wiedmann, T. (2007). *A comparative footprint analysis of On-Site Construction and an Off-Site Manufactured home*. Stockholm Environment Institute. York: University of York.
- British Standards Institute. (2011). *PAS 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Obtenido de [bsi. shop: http://shop.bsigroup.com](http://shop.bsigroup.com)
- Cámara Costarricense de la Construcción. (2013). *Informe económico del sector de la construcción. Enero 2013*. Dirección de investigación y desarrollo técnico. San José: Cámara Costarricense de la Construcción.
- Chomkhamsri, K. & Nathan, P. (29 de abril, 2011). *Sustainable development*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Deliverable.pdf>.
- Department for Business, Innovation & Skills. (2010). *Estimating the amount of CO₂ emissions that the construction industry can influence: supporting material for the low carbon construction IGT report*. Department for Business, Innovation & Skills. Londres: BSI.

- Granados Solís, A. (2014). *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Carbono Neutralidad: Avances y Desafíos de cara al año 2021*. San José: Programa Estado de la Nación.
- Greenhouse Gas Protocol. (noviembre, 2011). *Standards, Product Life Cycle Standard*. Obtenido de <http://www.ghgprotocol.org>
- Hammond, G. & Jones, C. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 161 (2), 87-98.
- INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). (2011). *Inte 12-01-06:2011. Sistema de Gestión para demostrar la C-neutralidad. Requisitos*. 2 ed. San José: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Summary for policymakers*. IPCC.
- ISO (International Organization for Standardization). (2013). *ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases: Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication*. Geneva: ISO.
- Lemaignan, B. & Wilmotte, J.Y. (marzo, 2013). *How to use the tool*. Obtenido de <http://www.geotechnicalcarboncalculator.com>
- MINAE, IMN (Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional) (2014). *Inventario nacional de gases efecto invernadero y absorción de carbono 2012*. MINAE, IMN, GEF, PNUD. San José: Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, GEF, PNUD.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones). (2009). (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. San José: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. Obtenido de <http://www.cambio-climaticocr.com>
- Monahan, J., & Powell, J. (2010, Setiembre). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a life cycle assessment framework. *Energy and Buildings* 43, 179-188.
- TEC Team. (2014). *Project Manual #4*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. HOLCIM. San José: UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe.
- van Gorkum, C. (2010). *Research Report: CO₂ Emissions and energy consumption during the construction of concrete structures*. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geo Sciences. Delft: Faculty of Civil Engineering and Geo Sciences.

Actualización de los criterios de calidad del agua de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica

Updating the water quality criteria for well and spring water used for potabilization in Costa Rica

Darner A. Mora-Alvarado¹, Ana Mata-Solano²,
Marco A. Sequeira-Barquero³

Fecha de recepción: 21 de agosto de 2015
Fecha de aprobación: 18 de diciembre de 2015

Mora-Alvarado, D; Mata-Solano, A; Sequeira-Barquero, M.
Actualización de los criterios de calidad del agua de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 85-98.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2890



- 1 MQC/MSc. en Salud Pública. Director del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica. Correo electrónico: dmora@aya.go.cr
- 2 Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.
- 3 Licenciado en Química, Área de Agua Potable del Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.

Palabras clave

Agua; calidad; criterio; naciente; potabilización; pozo.

Resumen

El objetivo de la investigación fue actualizar los criterios microbiológicos y físico-químicos de las aguas de pozos y nacientes para potabilización, mediante el análisis de datos de 965 pozos y 3.292 nacientes del país, durante el periodo 1996-2010. Para ello se aplicaron los siguientes pasos:

- Se hizo un inventario de las diferentes fuentes de agua para potabilización, con los datos históricos del Laboratorio Nacional de Aguas.
- En el caso de los criterios microbiológicos, se determinaron los promedios de Coliformes fecales (CF/100mL) y *Escherichia coli* (*E. coli*) en nacientes y pozos por separado.
- Con los datos de los promedios de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL se realizaron análisis estadísticos para pozos y nacientes, utilizando la media, la moda, la mediana, la desviación estándar (DS), el mínimo, el máximo y el rango, y se hizo una distribución por percentiles de los datos para cada indicador.
- Con respecto a la calidad físico-química, se aprovechó la experiencia y el conocimiento de la realidad de las fuentes de agua del país, además de los adelantos científicos contemplados en las *Guías para la Calidad del Agua de Bebida* de la OMS (2011).
- Los datos y el análisis estadístico, demostraron la conveniencia de separar los criterios microbiológicos de las aguas de pozos y nacientes. No obstante, en el aspecto físico-químico se definieron 11 parámetros básicos (organolépticos, dureza, nitratos, metales pesados, cloruros y plaguicidas).

El presente estudio permitió ampliar los criterios de calidad para la potabilización en pozos y nacientes, mediante el análisis de la realidad de las fuentes de aguas subterráneas del país.

Keywords

Criteria; potabilization; quality; spring water; wells.

Abstract

Objective: To update the microbiological and physical-chemical criteria for well and spring water used for potabilization, through analysis of data collected from 965 wells and 3.292 springs during the period 1996-2010.

Methodology: In order to fulfill the study objective the following phases were performed:

- Inventory of the diverse springs used for potabilization according to historical data available at the National Water Laboratory.
- In the case of microbiological criteria, averages were determined separately for springs and well water for the parameters of fecal coliforms (CF/100mL) and *Escherichia coli* (*E. coli*).
- With the average data for CF/100 mL and *E. coli*/100 mL, statistical analyses were performed for well and springs and the average, mode, median, standard deviation (SD),

minima, maxima and range were determined; in addition the percentile distribution for each indicator was determined.

- For physical-chemical quality, we recurred to expert criteria gathered through work with water sources in the country and the scientific updates in the 4th Edition of the WHO Drinking Water Quality Guidelines (2011).

Results: The data and statistical analysis show the convenience of having separate microbiological criteria for well-water and springs. However, regarding physical-chemical aspects, 11 basic parameters were defined (organoleptic, hardness, nitrates, heavy metals, chlorides, and pesticides).

Conclusions: This study allowed broadening the criteria for well-water and springs used for potabilization, through analysis of current conditions of groundwater in the country.

Introducción

El acceso a agua para consumo humano (ACH), la disposición adecuada de excretas (DAE) y la educación, son factores esenciales para mejorar la salud pública y la calidad de vida de los seres humanos (Heller, 1997; (Junkin, 1996; Heymann, 2005; Mora, 2005). En el caso del ACH, la protección y adecuada captación de las fuentes de agua (pozos, nacientes y aguas superficiales), son fundamentales para garantizar la calidad de los servicios de agua potable en cinco aspectos conocidos como las “cinco C” (cantidad, continuidad, calidad, costo y cobertura) (Mora, 2012).

Para evaluar las fuentes de agua superficiales (ríos, quebradas y embalses) en Costa Rica, existe el “Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales” (Decreto Ejecutivo N° 33903, 2007). Con respecto a las fuentes subterráneas para potabilización (pozos y nacientes) el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA, 1978), del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), implementó desde la década de los 70 los “Criterios de Calidad de Aguas para Pozos y Nacientes” (Decreto Ejecutivo N° 26066-S, 1997), que se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Criterios de calidad de las aguas de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica

Características	Unidad	Calidad físico-química y microbiológica			
		Excelente	Buena	Regular	Mala
Coliformes totales	NHP/100 mL	≤ 20	21-69	70-150	>150
Coliformes fecales	NHP/100 mL	<6	7-21	22-50	>50
pH	-----	6,5-8,5	5-9,0	4-10	-
Cloruros	mg/L	<200	200-400	>400-500	>500
Fluoruros	mg/L	<1,0	1-1,5	1,5-2,5	>2,5
Color	Unidades	0-10	>10-20	>20-30	>30
Turbiedad	UNT	0-10	>10-20	>10-20	>20

Por otro lado, en el caso de la evaluación de la calidad del ACH, se aplica el *Reglamento para la Calidad del Agua Potable* (Decreto Ejecutivo N°38924-S, 2015). Además el LNA, en el marco del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015 (PNMSCSAP) (Decreto Ejecutivo N° 33958-S-MINAE, 2007), estableció, entre otros aspectos, el Sistema para Evaluar la Calidad el Servicio de Agua Potable (SECSAP) (Mora & Feoli, 2006), usando las anteriormente mencionadas “cinco C”.

El LNA ha identificado, hasta ahora, 4.580 fuentes de agua, que abastecen a 2.138 acueductos que son operados por el AyA (180 sistemas), municipios (236), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) (12 acueductos) y acueductos comunales administrados por ASADAS y/o Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAARs) (1890) (Mora & Portuguez, 2011). De estas 4.580 fuentes de agua 321 son superficiales y abastecen al 35% de la población, 4.259 son subterráneas, 965 son pozos y 3.292 son nacientes (Mora, Mata & Portuguez, 2011).

En el caso específico de los criterios relativos a aguas subterráneas para potabilización, en las últimas cuatro décadas se han usado los parámetros microbiológicos y físico-químico indicados en el cuadro 1 de manera uniforme, tanto para pozos como para nacientes. Los autores de este trabajo consideran que esto es inconveniente, al menos en cuanto a los aspectos microbiológicos, para diferenciar ambos tipos de fuentes subterráneas.

Dicha diferencia se fundamenta en que, si bien es cierto que los dos tipos de fuentes tienen en común su origen subterráneo, y que por su naturaleza tanto los pozos como las nacientes están en general purificados en el aspecto microbiológico, cuando el manantial o naciente aflora debe ser bien captado, para evitar la contaminación con bacterias u otros microorganismos terrestres o de excretas de animales o seres humanos. En este sentido, los pozos -sobre todo los profundos- tienen mayor pureza que las nacientes.

Con respecto a las características físico-químicas la vulnerabilidad es muy semejante para pozos y nacientes. El presente estudio se enfoca en la actualización de los criterios microbiológicos para pozos y manantiales por separado y, aunque los parámetros físico-químicos son muy semejantes, el número de variables se ampliará a 15 en ambos tipos de fuentes de agua.

Objetivos

General

Actualizar los criterios microbiológicos y fisicoquímicos de las aguas de pozos y nacientes para potabilización, mediante el análisis de datos de 965 pozos y 3.292 nacientes durante el periodo 1996-2010.

Específicos

- Inventariar los diferentes tipos de fuentes de agua para potabilización en Costa Rica.
- Determinar los promedios geométricos de CF/100mL y *E. coli*/100 mL de cada uno de los 965 pozos y 3.292 nacientes estudiados.
- Realizar análisis estadísticos de la información de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL, mediante datos estadísticos básicos como la media, la moda, la mediana, la desviación estándar (DS), la varianza, el mínimo, el máximo, el rango y la distribución de los datos para ambos indicadores por percentiles, en el periodo 1996-2010.
- Actualizar y ampliar los parámetros físico-químicos para ambos tipos de fuentes.
- Establecer lineamientos para aplicar los nuevos criterios de calidad.

Metodología

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

Inventario de fuentes de agua para potabilización

Con los datos históricos del LNA se realizó el inventario de las diferentes fuentes de agua a saber pozos, nacientes y superficiales (ríos, quebradas y embalses), en el periodo 1996-2010.

Promedios geométricos de las bacterias indicadoras

Para determinar los promedios geométricos de CF/100mL y *E. coli*/100mL de los 965 pozos y 3.292 nacientes, se estudiaron 16.446 y 10.859 muestras de agua, respectivamente, en un periodo de 15 años.

Análisis estadísticos de los datos microbiológicos

A los datos de CF/100mL y *E. coli*/100 mL de los pozos y nacientes se les aplicó un análisis estadístico básico, que es un insumo para establecer los nuevos criterios microbiológicos por separado para ambos tipos de fuente. Dichas variables fueron la media, la mediana, la moda, la DS, la varianza, el coeficiente de asimetría, el mínimo, el máximo y el rango.

Además, para definir la clasificación de la calidad microbiológica de ambos tipos de fuentes de agua según las categorías *excelente*, *buena*, *regular*, *mala* y *muy mala* calidad para la potabilización, se establecieron los siguientes pasos:

- El ordenamiento de los datos promedio de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL en aguas de pozos y manantiales.
- Luego, los datos se agruparon por percentiles (deciles) y se determinaron los valores estadísticos básicos antes mencionados.
- Con fundamento en estos datos se definieron los siguientes clasificaciones:
 - El agua de pozo o naciente se calificará de calidad “excelente”, para la potabilización, si los datos de la moda y la media del color son iguales a “cero” o negativos por CF/100 mL y *E. coli*/100 mL.
 - El agua de pozo o naciente se calificará como de “buena” calidad, para la potabilización, cuando los resultados del color arrojen datos superiores a “cero” y menores o iguales a la moda y la media; de igual manera se procede con las variables de CF/100mLy *E. coli*/100mL
 - El agua de pozo o naciente de calidad “regular” para la potabilización, se define en el intervalo que va de los valores mayores a la media más el valor de la DS, fundamentado en que este es el “punto de quiebre”, donde los datos para ambos tipos de fuente tienen mayor varianza y coeficiente de asimetría; es decir, los datos de CF/100mL y *E. coli* del valor de la media hacia abajo prácticamente tienen una DS muy baja o menor a un dígito.
 - El agua de calidad “mala” para la potabilización se ubica en el valor máximo del intervalo de la calidad regular al valor máximo obtenido en los CF/100 mL y *E. coli*/100mL, en el percentil 100.
 - El agua de pozo y naciente de calidad “muy mala”, es aquella que supera el valor máximo obtenido en los 965 y 3.292 pozos y nacientes, en el periodo 1996-2010.

Definición en los valores de los parámetros fisicoquímicos

Para efectos prácticos, los parámetros físico-químicos seleccionados se definen por sus características organolépticas y su afectación a la salud del consumidor. Los parámetros seleccionados son:

Conductividad (MS/cm)	Nitratos (mg/L)
Color aparente (U.Pt.Co)	Plomo (µg/L)
Turbiedad (UNT)	Cadmio (µg/L)
Temperatura (°C)	Arsénico (µg/L)
Dureza total (mg/L)	Hierro (mg/L)
Manganeso (mg/L)	Plaguicidas (µg/L)

La definición de los valores recomendados y máximos permisibles se realizó de acuerdo con los datos históricos del LNA, la realidad hidrogeológica del país y el aporte científico de las *Guías para la Calidad del Agua de Bebida* de la OMS (2011).

Lineamientos para la aplicación de los criterios de calidad

Para aplicar los criterios de calidad físico-química y microbiológica para la potabilización, es necesario separar la evaluación en análisis puntuales o el promedio de CF/100mL y *E. coli*/100mL y los valores físico-químicos, en un periodo de al menos un año o cuatro análisis de laboratorio como mínimo.

Resultados

Inventario de los diferentes tipos de fuentes de agua

En el cuadro 2 se presenta el detalle, por tipo de fuente de agua para potabilización, de los 2.138 acueductos inventariados hasta el año 2010.

Cuadro 2. Fuentes de abastecimiento de los acueductos operados por el AyA, municipios, ASADAS y/o CAARs y la ESPH: 2010

Ente operador	Pozos	Naciente	Fuentes superficiales con y sin Planta de tratamiento		Subtotales	
			Con	Sin	Nº	%
AyA	229	188	32	19	468	10,2
ASADAS y/o CAAR's	672	2.793	13	220	3.698	80,7
Municipalidades	47	309	3	29	388	8,5
ESPH	19	2	0	5	26	0,6
Totales	967	3.392	48	273	4.580	100

Fuente. Laboratorio Nacional de Aguas.

- En los anexos A y B se presentan, en orden creciente, los promedios de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL para aguas de pozos. Por su parte, en los anexos C y D se presenta la misma información para las nacientes, ambos para en el periodo 1996-2010.
- Distribución estadística de los resultados promedio de CF/100mL y *E. coli*/100 mL en agua de pozos.

Distribución estadística de CF-100MI y propuesta de Clasificación de calidad para potabilización.

En el cuadro 3 se presentan los resultados de los datos promedio de CF/100 mL de los 967 pozos, en el periodo 1996-2010.

Cuadro 3. Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de pozos usados para potabilización: 1996-2010

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de asimetría	Mín.	Máx.	Rango
967	0	2,70	0	27,37	746,37	24,53	0	750	750

Fuente: Elaboración de los autores. DS: Desviación estándar.

En el cuadro 4 se presenta la distribución de los CF/100 mL promedios de las aguas de los pozos.

Cuadro 4. Percentiles (deciles): distribución de los promedios de CF/100 mL de los pozos en el periodo 1996-2010

Percentiles	Valores de CF/100 mL
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	1,22
90	1,79
100	750,0

Fuente: Elaboración de los autores.

Propuesta de clasificación de la calidad del agua según los CF/100 mL

De conformidad con los lineamientos planteados en la metodología sobre el análisis estadístico, en el cuadro 5 se presenta la propuesta sobre criterios microbiológicos, según CF/100 mL, en 967 pozos.

Cuadro 5. Propuesta de criterios microbiológicos, según CF/100 mL en las aguas de pozos en Costa Rica

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	O (negativo)	En concordancia con los valores de la moda y la mediana
Buena	> 0 a 2,7	El valor máximo de acuerdo con el valor de la media
Regular	> 2,7 a 30,0	El valor máximo se calcula sumándole a la media el valor de la DS de los 967 datos
Mala	> 30 a 750	El valor máximo de 750 se ubica en el percentil 100
Muy mala	> 750	Cualquier dato que supere el valor máximo de 750 CF/100 mL

Fuente: Elaboración de los autores.

Propuesta de clasificación de la calidad del agua de los pozos según E. coli/ 100 mL.

En el cuadro 6 se presenta la distribución estadística de los 967 datos, dos promedios de *E. coli*/100 mL en aguas de pozos.

Cuadro 6. Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de *E. coli*/100 mL en aguas de pozos: 1996-2010

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de Asimetría	Mín.	Máx.	Rango
967	0	2,16	0	26,95	727	25,01	0	750	750

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 7 se presenta la distribución de los 967 datos promedio de *E. coli*/100 mL por percentiles o deciles.

Cuadro 7. Distribución de los 967 datos promedio de *E. coli*/100 mL por percentiles o deciles

Percentiles	Valores de CF/100 mL
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	1,15
90	2,52
100	750,0

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 8 se presenta la propuesta de clasificación de la calidad microbiológica según *E. coli*/100 mL.

Cuadro 8. Propuesta de criterios microbiológicos según *E. coli*/100 mL para aguas de pozos

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	0 (negativo)	De conformidad con los valores de la moda y la mediana
Buena	> 0 a 2,3	El valor máximo es la media de los 967 datos
Regular	> 2,2 a 29	El valor máximo se calcula sumando a la media la DS de 26,95
Mala	> 29 a 750	El valor máximo de 750 <i>E. coli</i> /100 mL se encuentra el percentil 100
Muy mala	> 750	Cualquier dato que supere el valor máximo obtenido en los 967 datos históricos.

Fuente: Elaboración de los autores.

Distribución estadística de los resultados promedio de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL en aguas de nacientes

Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de las nacientes y propuesta de clasificación de calidad

En el cuadro 9 se presenta la distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de 3292 nacientes analizadas en el periodo 1996-2010.

Cuadro 9. Distribución estadística de los datos promedio de CF/100 mL de las aguas de nacientes: 1996-2010

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de asimetría	Mín.	Máx.	Rango
3292	1,87	23	0	153,97	23,71	12	0	2400	2400

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 10 se presentan los datos de CF/100 mL distribuidos por percentiles.

Cuadro 10. Percentiles (deciles) de los datos promedio de CF/100 mL en aguas de nacientes utilizadas para potabilización

Percentiles	Valores de CF/100 mL
10	0
20	0
30	0
40	1,3
50	1,9
60	2,7
70	3,8
80	7,7
90	21,5
100	2400

Fuente: Elaboración de los autores

Propuesta de clasificación de la calidad del agua según CF/100 mL en nacientes

En el cuadro 11 se presenta la propuesta de clasificación microbiológica, según CF/100 mL en aguas de nacientes.

Cuadro 11. Propuesta de criterios microbiológicos según CF/100 mL en aguas de nacientes

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	O (negativo)	En concordancia con el valor de la moda
Buena	> 0 a 23	El valor máximo de 23 es el obtenido como mediana en 3.292 nacientes
Regular	> 23 a 177	El valor máximo se calcula sumando al valor de la media la DS de los 3.292 datos
Mala	> 177 a 2400	El valor máximo de 2.400 se ubica en el percentil 100
Muy mala	> 2400	Cualquier dato que supere el valor máximo de 2400 CF/100 mL.

Fuente: Elaboración de los autores.

Distribución estadística de E. coli/100 mL para aguas de nacientes y propuesta de clasificación de calidad

En el cuadro 12 se presenta la distribución estadística de los promedios de *E. coli*/100 mL de las 3.292 nacientes estudiadas de 1996 a 2010.

Cuadro 12. Distribución estadística de los datos promedio de *E. coli*/100 MI de las nacientes utilizadas para potabilización

Nº	Mediana	Media	Moda	DS	Varianza	Coef. de asimetría	Mín.	Máx.	Rango
3292	1,38	19,59	0	149,42	22,23	13,31	0	2400	2400

Fuente: Elaboración de los autores.

En el cuadro 13 se presenta la distribución de los valores promedio de las 3292 nacientes, por percentiles o deciles.

Cuadro 13. Percentiles (deciles) de los datos promedio de *E. coli*/100 mL en nacientes utilizadas para potabilización

Percentiles	<i>E. coli</i> /100 mL
10	0
20	0
30	0
40	1,15
50	1,4
60	2,7
70	3,8
80	*
90	21,5
100	2400

Fuente: Elaboración de los autores.

Propuesta de clasificación de la calidad del agua, según E. coli/100 mL en aguas de nacientes

Cuadro 14. Propuesta de criterios microbiológicos, según *E. coli*/100 mL en aguas de nacientes

Clasificación de la calidad	Intervalos	Observaciones
Excelente	0 (negativo)	En concordancia con el valor de la moda de los 3292 datos
Buena	> 0 a 20	El valor máximo de 20 es el obtenido como mediana
Regular	> 20 a 170	El valor de 170 se obtiene de la suma de la media más la DS
Mala	> 170 a 2400	El valor máximo de 2400 se ubica en el percentil 100
Muy mala	> 2400	Cualquier valor que supere el valor máximo de 2400 <i>E. coli</i> /100 mL.

Fuente: Elaboración de los autores.

Parámetros fisicoquímicos recomendados en cada clase

Contrariamente a las variables microbiológicas, que tienen valores diferentes para aguas de pozo y nacientes, los parámetros fisicoquímicos son semejantes para ambos tipos de fuente.

En el cuadro 15 se resumen tanto las variables microbiológicas como los 15 parámetros fisicoquímicos seleccionados.

Cuadro 15. Criterios de Calidad para Potabilización en Aguas de Pozos y Nacientes Costa Rica: 2012

Pozos	Nacientes	Parámetros	Calidad Microbiológica y Fisicoquímica				
			Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
x		CF/100 mL	O (Negativo)	>0 a 2,7	>2,7 a 30	>30 a 750	>750
x		E.coli/100 mL	O (Negativo)	>0 a 2,2	2,2 a 29	<29 a 750	>750
	x	CF/100 mL	O (Negativo)	>0 a 23	>23 a 177	>177 a 2400	>2400
	x	E.coli/100 mL	O (Negativo)	>0 a 20	>20 a 169	>169 a 2400	<2400
x	x	Color (Pt-Co)	<1,0	1 a <5	5a <10	10 a <15	≥15
x	x	Turbiedad (UNT)	<1,0	1 a < 3	3a < 5	5 a < 10	≥10
x	x	Temperatura (°C)	<18,0	18 a 25	25a<28	28 a <50	≥50
x	x	Conductividad (µs/cm)	<400	400 a <500	500 a <600	600 a <700	≥ 700
x	x	Dureza Total (mg/L)	<200	200 a <300	300 a <400	400 a <500	≥500
x	x	Fluoruros (mg/L)	<0,7	0,7 a <1,0	1,0 a <1,5	1,5 a <20	≥20
x	x	Hierro (mg/L)	<0,2	0,2 a < 0,3	0,3 a <0,4	0,4 a <0,5	≥0,5
x	x	Manganeso (mg/L)	<0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,5	0,5 a <10	≥1,0
x	x	Nitratos (mg/L)	<10	10 a <25	25 a <40	40 a <50	≥50
x	x	Plomo µg/L	<5,0	5 a <10	10 a <15	15 a <20	≥20
x	x	Cadmio µg/L	<3,0	3,0 a <5,0	5,0 a <7,0	7 a <10	≥10
x	x	Arsénico Total (µg/L)	<5,0	5 a <10	10 a <20	20 a <30	≥30
x	x	Cloruros (mg/L)	<25	25 a<50	50 a <100	100 a <200	≥200
x	x	Plaguicidas Total (µg/L)	ND 0,0	0,0 a <0,5	0,5 a <1,0	1,0 a <1,5	≥1,5
x	x	Valor de pH	6,5-7,5	6,0-<6,5 o >7,5 a <8,0	5,5 a <6,0 >8,0<8,5	5,0 a <5,5 o 8,5 a 9,0	<5,0 o>9,0

Fuente: Elaboración de los autores.

Lineamientos para aplicar los criterios fisicoquímicos y microbiológicos para potabilización en aguas subterráneas.

Evaluaciones puntuales

- Las evaluaciones puntuales son aquellas que se realizan con un solo análisis fisicoquímico y microbiológico.
- En el caso de las aguas de pozos, se recomienda utilizar en forma indiferente los indicadores bacterianos del Grupo Coliforme Fecal y la bacteria *E. coli*/100 mL, debido a que los intervalos propuestos son muy semejantes.
- En el caso de las aguas de las nacientes, se recomienda usar la *E. coli*/100 mL, debido a que existen diferencias en los intervalos y esta bacteria es más específica de la contaminación fecal.
- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos, se deben aplicar las 15 variables seleccionadas en conjunto con una adecuada inspección sanitaria de la zona y hacer una evaluación de riesgo de la naciente.

Evaluaciones periódicas

- En las evaluaciones periódicas en al menos un año se recomienda realizar dos muestreos en verano y dos en invierno para las variables microbiológicas. En el caso de los muestreos para parámetros fisicoquímicos, se recomienda una muestra en verano e invierno en los 15 parámetros seleccionados.
- Con respecto a la evaluación microbiológica, es necesario sacar el promedio de CF/100 mL y *E. coli*/100 mL de las cuatro muestras realizadas. Además, se deben utilizar, en forma complementaria, los indicadores bacterianos de CF/100mL y *E. coli*/100mL en las aguas de nacientes. En el caso de los pozos, se recomienda usar la *E. coli*/100 mL.
- Al igual que las evaluaciones puntuales, es necesario hacer adecuadas inspecciones sanitarias en los pozos y las nacientes, para hacer una evaluación de riesgo sanitario y tomar medidas correctivas de las respectivas fuentes de agua.

Bibliografía

- Heller, L. (1997). *Saneamiento y salud*. Brazilia: OMS/OPS.
- Heymann, D. (2005). *El control de las enfermedades transmitibles*. Washington D.C.: EUA, OMS, APHA.
- Junkin, M. (1996). *Agua y salud humana*. México D.F.: Editorial Limusa.
- LNA (Laboratorio Nacional de Aguas). (1978). *Criterios de calidad de aguas de pozos y nacientes*. La Unión, Cartago: Laboratorio Central AyA.
- Mora, D. (2005). *Saneamiento, Educación y Salud*. San José: Editorama.
- Mora, D. (2012). *Calidad microbiológica de las aguas superficiales en Costa Rica 2011*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Mora, D. & Feoli, H. (2006). *Sistema de Evaluación de la calidad de los servicios de agua potable*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Mora, D. & Portuguese, C. (2011). *Acceso a agua para consumo humano y saneamiento. Evolución en el periodo 1990-2010 en Costa Rica*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas, AyA.
- Mora, D., Mata, A. & Portuguese, C. (2011). *Calidad microbiológica de las fuentes de aguas superficiales utilizadas para consumo humano en Costa Rica*. La Unión, Cartago: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la Calidad del Agua de Bebida. Tercera edición. Volumen 1 Recomendaciones*. OMS, Genova, 2004.
- Poder Ejecutivo. (1997). *Designación del Laboratorio Central del AyA como Laboratorio Nacional de Aguas-San José*. D.E. N° 26-066-S. *La Gaceta* N° 26066-S, 1997.

- Poder Ejecutivo. (2015). *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. San José. D.E. N° 38924-S. *La Gaceta* N° 170, del 1 de setiembre de 2015.
- Poder Ejecutivo. (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los cuerpos Aguas Superficiales*. San José, D.E. N° 33903-MINAE-S. *La Gaceta* N° 178, 2007.
- Poder Ejecutivo. (2007). *Reglamento para la Implementación y Desarrollo del Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad de los Servicios de Agua Potable: 2007-2015*. San José. D.E. N° 33958-S-MINAE. *La Gaceta* N° 175, 2007.

Comportamiento de los aislamientos sólidos de transformadores de potencia en condiciones ambientales no controladas

Behavior of the solid isolations of power transformers under environmental not controlled conditions

Gustavo Jiménez-Araya¹, Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez²

Fecha de recepción: 4 de setiembre de 2015

Fecha de aprobación: 11 de enero de 2016

Jiménez-Araya, G; Gómez-Ramírez, G. Comportamiento de los aislamientos sólidos de transformadores de potencia en condiciones ambientales no controladas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 99-116.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2891



- 1 Ingeniero Área de Reparación ICE-LIMAT. Profesor Departamento de Electrónica, Colegio Universitario de Cartago. Costa Rica. Teléfono: (506) 2001 0924 Correo electrónico: gjimeneza@ice.go.cr
- 2 Ingeniero Laboratorio de Alta Tensión ICE-LIMAT. Costa Rica. Profesor Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica. Profesor Escuela de Ingeniería Electromecánica, Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: (506) 2550 9354. Correo electrónico: ggomez@itcr.ac.cr

Palabras clave

Materiales dieléctricos; aislantes.

Resumen

Uno de los aspectos importantes en la vida útil de un transformador de potencia es la conservación de los aislamientos sólidos y líquidos, que deberán permanecer íntegros ante la presencia de humedad y contaminantes. Con el fin de preservar su integridad, se procura mantener la hermeticidad dentro del transformador. El objetivo principal de esta investigación fue estudiar y analizar el deterioro de los aislamientos sólidos en transformadores de potencia bajo condiciones ambientales no controladas. De esta manera, se busca comprobar, por medio de pruebas de resistencia al aislamiento e índice de polimerización, la existencia de algún tipo de deterioro en los materiales aislantes sólidos que fueron muestreados; así como dar un estimado del grado de deterioro porcentual del aislamiento sólido bajo condiciones de temperatura y humedad relativa no controladas. El problema fundamental es el deterioro de las propiedades dieléctricas y mecánicas del papel aislante y otros componentes sólidos en el tiempo. Esto hará que ante un cortocircuito, el papel aislante sea incapaz de soportar y se inicie una falla incipiente o peor aún, una falla permanente.

Keywords

Dielectrics materials; insulation.

Abstract

One of the important aspects in the useful life of a power transformer, is the conservation of the solid and liquid isolations. These will have to remain complete before the presence of dampness and pollutants. One tries to support the staunchness inside this one in order to preserve his integrity. The principal aim of this investigation is to study and to analyze the deterioration of the solid isolations in power transformers under environmental not controlled conditions. Hereby one wants to verify by means of the Isolation test and index of polymerization the existence of some type of deterioration in the insulating solid materials that were sampled. Likewise, gives the estimated one of the degree of percentage deterioration of the solid low isolation conditions of temperature and relative dampness not controlled. The fundamental problem of this one is the deterioration of the insulation properties and mechanical of the insulating paper in the time. This will do that before a short circuit, the insulating paper is unable to support and to be the beginning of a fault.

Introducción

Los procesos de reparación de máquinas eléctricas ya sean motores, generadores o transformadores, conllevan un tratamiento adecuado del manejo de los materiales dieléctricos sólidos, en la cual están construidas mayoritariamente dichas máquinas. Este tratamiento adecuado hará perpetuar el tiempo de vida de los equipos y de esta manera maximizar ganancias de ellos.

Al efectuar un mantenimiento mayor a un transformador de potencia, la parte activa (lugar dentro de la máquina eléctrica donde se sitúan aislamientos, bobinas y núcleo) puede mantenerse a

la intemperie gran cantidad de tiempo pues se requiera hacer inspecciones, reparaciones y cualquier otra labor dependiendo la necesidad.

Por esta razón, la parte activa de un transformador puede resultar comprometida y atacada por los enemigos de los aislamientos: la humedad relativa y las partículas sólidas. Esta es responsable de gran parte de las fallas en los transformadores de potencia pues el dieléctrico se ve comprometido en su integridad debido a agentes externos que son conductivos en presencia de grandes campos eléctricos.

En el caso de algunos mantenimientos mayores, los aislamientos se pueden exponer por días, semanas e incluso meses, dependiendo de la complejidad de la falla. Esta actividad conlleva un riesgo para la vida de los aislamientos y, por ende, la aceleración del envejecimiento prematuro de los materiales dieléctricos.

Transformador de potencia

Se denomina transformador a una máquina eléctrica (Hubert, 1991) que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida.

Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc. El devanado que se conecta a la fuente de energía se llama primario y, dependiendo del número de devanados, las otras bobinas pueden recibir el nombre de devanado secundario o devanado terciario respectivamente.

En la figura 1 se muestra un transformador de potencia.

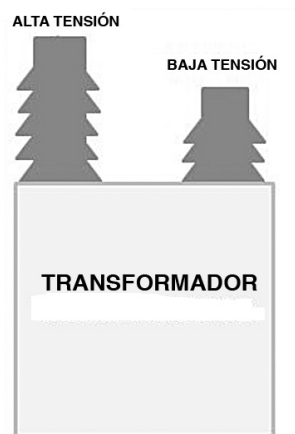


Figura 1. Transformador de potencia.

La parte activa del transformador es considerada el corazón de la máquina eléctrica, ya que es ahí donde se realiza la transformación de tensión y corrientes. En ella se tienen tres partes fundamentales: núcleo magnético, conductores eléctricos y materiales dieléctricos.

Núcleo magnético: En la fabricación de los núcleos para los transformadores de potencia se utilizan láminas de acero eléctrico, que están conformadas por una aleación de acero con aleaciones de silicio con bajos contenidos de carbón. Estas láminas deben estar recubiertas por un material aislante similar al barniz o las lacas transparentes, llamado *carlite*. En el mercado existen aceros con diferentes espesores y características, tanto en transformadores de potencia

como de distribución; por lo general se utilizan láminas de acero con aleaciones de silicio con grano orientado. Con la idea de reducir las pérdidas energéticas en los transformadores que producen ineficiencia en su operación, aparecen los materiales con acero amorfo, que se caracteriza por reducir las pérdidas hasta en un 25% con respecto a los materiales convencionales, debido a que tienen una composición cristalina.

Conductores eléctricos: Los conductores que se usan normalmente en las máquinas eléctricas deben tener alta conductividad, una adecuada resistencia mecánica, facilidad para soldar, ser dúctiles y maleables y el coeficiente de temperatura por resistencia eléctrica debe ser el menor posible. Los materiales que se usan comúnmente son cobre y aluminio, pero aún entre ellos existen diferencias.

Los calibres de los materiales conductores no siempre calzan con los requeridos en el momento del diseño, por lo que es necesario darles una tolerancia; generalmente se utiliza el inmediato superior. Para los casos en los que se requiere una intensidad de corrientes elevadas, lo más aconsejable es utilizar conductores en paralelo, ya que en el momento de construir la bobina con conductores con un área transversal mayor a fin de aumentar la capacidad de trasiego de corriente eléctrica.

Materiales dieléctricos: El diseño dieléctrico (Naidu & Kamaraju, 2009) de cualquier transformador consiste en determinar las características y dimensiones de cada uno de los aislamientos utilizados, de tal forma que aseguren una operación dieléctrica confiable. En este tópico interesan los siguientes aspectos:

- Espesor de cartón de entre bobinas al núcleo
- Ancho de los separadores de bobina a yugos; esto es importante pues este distanciamiento hace que el transformador supere la prueba dieléctricas de alta tensión como la prueba con el generador de impulsos. (simula descargas atmosféricas bajo condiciones controladas de laboratorio).
- Espesor del espacio entre las bobinas de alta y baja tensión
- Espesor del aislamiento entre capas
- Espesor y distancia entre fases
- Espesor del aislamiento de bobina a núcleo

Las estructuras aislantes que se usan en los transformadores se caracterizan por tener geometrías diversas y algunas veces irregulares. Por este motivo, la predicción del comportamiento dieléctrico de los aislamientos resulta muy complicada. Con el fin de investigar y analizar las características de un material dieléctrico, se debe considerar la siguiente figura, en la que se muestra un cubo de material con electrodos en la parte superior e inferior.

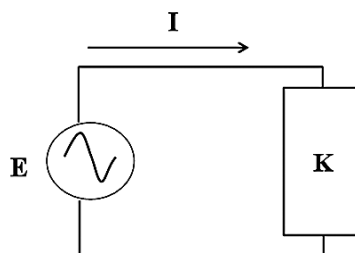


Figura 2. Dieléctrico en un capacitor de placas planas

Cuando se aplica una tensión C.A. entre los electrodos, circula una corriente por el circuito, aparentemente por el cubo. Esta corriente consiste en dos componentes, uno en fase con la tensión y otro adelantado 90° con respecto a la tensión. El segundo componente es capacitivo. De la figura 3 y 4 se deriva:

$$\tan\delta = \frac{I_R}{I_C}$$

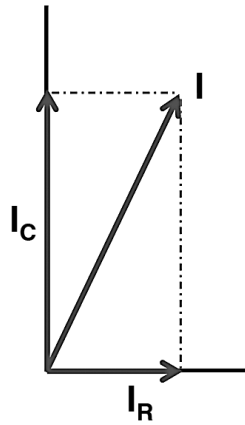


Figura 3. Corrientes componentes en un dieléctrico

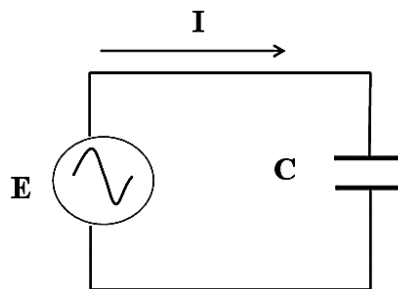


Figura 4. Circuito equivalente aproximado

que es aproximadamente igual al factor de potencia del aislamiento que es el $\cos \theta$, es decir:

$$fp = \cos \theta = \frac{I_R}{I_C}$$

En general, debido a que I_R es del orden del 1%, la impedancia equivalente al dieléctrico es prácticamente un capacitor y entonces

$$I = \frac{E}{Z} = j\omega C$$

Si se sustituye el material entre los electrodos, se encuentra que la corriente varía, esto es, la impedancia del circuito cambia. Si $Z = 1/j\omega C$, la capacitancia del circuito puede determinarse

fácilmente. Se sabe que para un capacitor de placas paralelas la capacitancia depende tanto de su relación geométrica como de una constante dieléctrica, que es:

$$C = \frac{\epsilon_o KA}{d}$$

donde:

C: capacitancia (faradios)

A: área de uno de los lados de las placas (m²)

D: espesor dieléctrico (metros)

K: constante dieléctrica del espacio entre placas

ϵ_o : 8.85×10^{-12} f/m

El factor de potencia es un indicador de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento. Los procesos de deterioro térmico y la absorción de humedad incrementan las pérdidas antes mencionadas. Una manera de medir estas pérdidas es analizando el progreso en el tiempo de dos valores: *el factor de disipación (tan δ) y el factor de potencia.*

Las pérdidas atribuidas al material dieléctrico se deben principalmente a que la mayoría de los materiales de aislamiento contienen moléculas polares que tienden a rotar o vibrar cuando un campo eléctrico C.D. es aplicado aumentando la corriente de absorción (IA); cuando se aplica un campo eléctrico alterno, entonces las moléculas oscilarán a una frecuencia de 60 veces por segundo.

Puesto que esto sucede en un medio sólido, la fricción producida contra las moléculas adyacentes aumenta la temperatura del aislamiento, la energía se disipa en forma de calor, por lo tanto, las pérdidas dieléctricas en un material son una propiedad intrínseca, de esta manera su medida no es un indicador de la calidad del aislamiento.

Cuando parte del aislamiento se expone a altas temperaturas, se produce una rotura de las cadenas de polímero. Si una molécula de oxígeno se adhiere al final de la cadena se produce un efecto de oxidación, cuya consecuencia es que el aislamiento tenga consistencia quebradiza.

La inclusión de oxígeno en las cadenas de polímero crea moléculas polares adicionales en el aislamiento, las cuales, al ser excitadas por el campo eléctrico alterno, producirán mayores pérdidas dieléctricas; lo mismo ocurre cuando los aislamientos se encuentran húmedos, porque las moléculas de agua son polares. De lo anterior se deduce que cuando las pérdidas dieléctricas aumentan a través del tiempo, ello puede significar un envejecimiento de los devanados o que estos estén húmedos.

Características de la ruptura de un material dieléctrico

La intensidad de campo eléctrico en un material dieléctrico no puede aumentarse indefinidamente. Si se excede de un cierto valor, ocurre una descarga eléctrica y entonces se dice que “rompió el arco”. La máxima intensidad de campo que un dieléctrico puede sostener antes de la ruptura se conoce como rigidez dieléctrica.

La rigidez dieléctrica depende de varios factores:

- *Espesor del material:* en general, la rigidez dieléctrica aumenta cuando el espesor del material aumenta.
- *Homogeneidad del material:* las sustancias extrañas normalmente debilitan el material. En líquidos, por ejemplo, los gases disueltos, la humedad y las partículas sólidas afectan la

rigidez dieléctrica; mientras que en los materiales sólidos cualquier imperfección puede ocasionar una concentración de campo eléctrico y por lo tanto una descarga eléctrica interna sumamente peligrosa para el dieléctrico.

- *Nivel de tensión y tiempo*: el tiempo de duración de las gradientes de alta tensión contribuye a determinar la rigidez dieléctrica. Entre más tiempo, menor rigidez. El tiempo es un factor menos importante en gases que en líquidos y sólidos.
- *Forma de los electrodos*: normalmente, si los electrodos son irregulares se obtiene un campo eléctrico resultante no uniforme.
- *Presión en gases*: la rigidez de los gases generalmente aumenta con la densidad molecular (presión/temperatura).

Cuando un transformador se alimenta a tensiones de baja frecuencia (60 Hz), los esfuerzos dieléctricos entre vueltas, capas o secciones pueden determinarse al suponer una distribución completamente uniforme a lo largo del devanado. Todo transformador se diseña para que pueda soportar tensiones de impulso equivalentes a descargas atmosféricas que pudieran incidir sobre el sistema eléctrico al que esté conectado. El comportamiento del transformador ante este tipo de fenómenos es diferente al comportamiento en baja frecuencia.

La palabra *dieléctrico* (Naidu & Kamaraju, 2009) denomina a los materiales que poseen valores bajos en conductividad o altos en resistividad inversamente hablando y, por ende, una buena constante dieléctrica. Es por ello que pueden ser utilizados como dieléctricos. Todos los materiales dieléctricos tienen características aislantes, pero no todos los materiales aislantes tienen características dieléctricas. Existen materiales dieléctricos *líquidos, gaseosos y sólidos*.

El dieléctrico líquido

El aceite dieléctrico debe tener buenas propiedades aislantes, las cuales dependen en su totalidad de qué tan libre de impurezas se encuentre. Estos aceites son cuidadosamente tratados en el momento de ser envasados. El líquido tiene una alta resistencia a la oxidación, lo que le permite funcionar por períodos prolongados de tiempo. Su viscosidad es muy baja, lo que facilita su penetración en la parte activa y la transferencia del calor.

El dieléctrico gaseoso

En los transformadores, los gases más utilizados son el aire y el nitrógeno. Estos transformadores generalmente son de construcción sellada. El aire y algunos gases tienen una elevada resistencia y las pérdidas dieléctricas son bajas. Algunos gases, como el hexafluoruro de azufre (SF₆), se caracterizan por ser incoloros, no tóxicos, fisiológicamente inertes, no corrosivos y no inflamables, aunque sí son altamente contaminantes.

El dieléctrico sólido

Su función es mantener separados eléctricamente todos los elementos que conforman la parte activa del transformador; de acuerdo con el espesor de la bobina, se deberán utilizar los materiales dieléctricos indicados en el cuadro 1. A continuación, se describen algunos de los materiales dieléctricos sólidos utilizados en los transformadores de potencia.

Papel aislante

Forma parte de los aislantes sólidos del transformador de potencia y se utiliza para brindar tanto rigidez dieléctrica como mecánica a los conductores. El papel fue uno de los primeros materiales aislantes utilizados y en la actualidad lo continúa siendo. En el cuadro 2 se incluyen algunos tipos de papel que se utilizan en los transformadores.

Cuadro 1. Descripción de materiales utilizados en transformadores de potencia

Tipo	Descripción
Aislamientos delgados pretensados	Estos cartones son rieles en forma de cola de milano, rieles rectangulares que sirven para separar las bobinas, las bobinas con el núcleo, las pantallas que separan las fases y también como vías de enfriamiento.
Aislamientos gruesos	Materiales de una gran resistencia mecánica, encargados de darle dimensiones y apriete a las bobinas; en caso de existir algún esfuerzo dinámico, deben tener la capacidad de soportarlo.
Papel aislante	Brindan rigidez dieléctrica y mecánica a los conductores.

Cuadro 2. Algunos tipos de papel utilizados como aislante en transformadores de potencia

Nombre	Descripción
Papel Manila	Este aislante es fabricado a partir de fibras de cáñamo.
Papel Prespan	Su fabricación es similar a la del papel Kraft, ya que está hecho de pasta química de madera.
Papel nomex	Material similar al Nylon, se utiliza mucho en motores que requieren soportar temperaturas de entre los 200 C° a 220 C°, pero también es muy usado en transformadores híbridos, ya que es muy flexible y tiene una gran resistencia mecánica. Su desventaja es su alto costo.
Papel Kraft	Papel fabricado con pasta química de madera; sus espesores rondan entre 0,05 mm y 0,5 mm. En el proceso de creación de este tipo de papel se pueden utilizar cualquier tipo de maderas.

Envejecimiento del papel: El envejecimiento es causado por la alteración en los polímeros del papel, esto quiere decir que son las rupturas entre las cadenas de celulosa, por lo tanto, el grado de polimerización disminuye y de la misma manera la resistencia mecánica.

Prueba de grado de polimerización (DP): En un transformador de potencia, la degradación del papel aislante que se encuentra en la parte activa es progresiva, ya que los valores en el grado de polimerización van disminuyendo con el tiempo. A causa de eso se producen gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y furanos, entre otros tipos de compuestos.

Para poder detectar los cambios en las condiciones de celulosa en el papel, se realiza la prueba de medición del grado de polimerización. Este método es considerado el más exacto en cuanto a aproximarse a los valores reales del papel aislante y, por ende, de la vida del transformador, ya que dependiendo del estado del aislante, así será la longevidad de esta máquina eléctrica. Para efectuar esta prueba es necesario extraer muestras de papel de las bobinas. En el cuadro 3 se presenta una escala de evaluación del índice de polimerización del papel según la clasificación del Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE, 2007).

La despolimerización puede ser consecuencia de reacciones químicas que provocan la *degradación de la celulosa*. Estas reacciones pueden ser por *hidrólisis, pirólisis u oxidación*. Los principales factores que contribuyen al envejecimiento de la celulosa en los transformadores de potencia son la *temperatura, la humedad y el oxígeno*. En el proceso de envejecimiento del papel, la degradación de la celulosa se debe a la hidrólisis y luego a la oxidación.

Cuadro 3. Rangos de envejecimiento del papel según el grado de polimerización

Grado de Polimerización	Estado del papel
Mayor de 1000	Prácticamente sin envejecer
999 a 601	Levemente envejecido
600 a 401	Envejecimiento medio
400 a 251	Acercándose a un envejecimiento crítico
250 a 151	Envejecimiento crítico
Menor de 150	Extremadamente envejecido

Fenómenos que contribuyen al envejecimiento del papel en un transformador de potencia

Envejecimiento del papel mediante oxidación: Esto ocurre debido a la presencia de oxígeno; se puede decir que es una forma de pirólisis, ya que sus productos finales son el agua y el dióxido de carbono.

Envejecimiento del papel por pirólisis: Ocurre cuando existen temperaturas altas que generan agua, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Envejecimiento del papel en función de la posición: La temperatura en la parte activa de un transformador es un agente crítico. Uno de los problemas es que no mantiene la simetría de calor en sus componentes y de esta manera deteriora algunas partes más que otras.

Pruebas dieléctricas básicas a materiales dieléctricos

Medición de la resistencia del aislamiento

La prueba de resistencia de aislamiento (IEC 60076-1, 1989) ha sido desarrollada para determinar el aislamiento eléctrico en los devanados individuales referidos a tierra o entre ellos. El conocimiento de la resistencia de aislamiento es un valor para el conocimiento del aislamiento propio del transformador o un material dieléctrico. Hoy día se utilizan diferentes métodos sofisticados para asegurar la calidad del sistema de aislamiento, tales como la medición por espectroscopía dieléctrica de baja frecuencia, la medición de corriente de polarización/despolarización en el dominio del tiempo y el espectro de retorno de tensión de polarización.

La resistencia del aislamiento comúnmente se mide en megohms ($M\Omega$). Las variaciones en la resistencia del aislamiento pueden ser causadas por numerosos factores, tales como: *diseño*,

temperatura, sequedad y limpieza de las partes internas, especialmente de los aisladores. La resistencia del aislamiento varía según la tensión aplicada.

El circuito de medición es muy simple y práctico. La prueba debe realizarse con todas las terminales cortocircuitadas. En la figura 5 se muestra el circuito de medición. Normalmente, los medidores de resistencia de aislamiento tienen la fuente de DC integrada y los hay disponibles para 0.5, 1, 2.5, 5 y 10 kV.

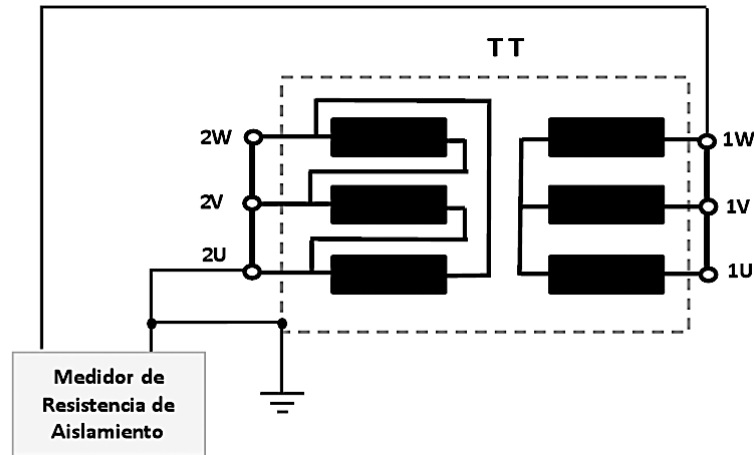


Figura 5. Circuito de medición de Resistencia de aislamiento

T T: transformador bajo prueba

La duración de la prueba puede ser de 1 minuto. Usualmente, las mediciones se toman después de 15 segundos o incluso hasta el minuto de medición. La relación entre los valores medidos después de 60 segundos (R_{60}) y los medidos después de 15 segundos (R_{15}) es aproximadamente de 1.3-3; este es un criterio importante de la condición de aislamiento. Siempre se deberá tomar el dato de temperatura y este valor deberá referenciarse a 20 °C.

De igual manera, se puede obtener el índice de polimerización (IP). El IP es el cociente entre la medición de aislamiento de 10 minutos y 1 minuto, respectivamente. Constituye una guía sobre la condición de aislamiento del transformador; para ello se consideran los siguientes criterios de aceptación:

- Valor $IP > 1$ significa que el transformador presenta buenas condiciones de aislamiento.
- Valor $IP < 1$ significa que el transformador presenta condiciones insatisfactorias de aislamiento.

Medición del factor de disipación ($\tan \delta$) de sistemas de aislamiento capacitivos

La prueba de factor de potencia del aislamiento (IEC 60076-1, 1989), similar a la prueba de resistencia del aislamiento, da una certeza del estado del aislamiento. *El significado de la prueba todavía está en discusión.* La experiencia ha dictado que el factor de potencia es una ayuda para asegurar la condición probable del aislamiento cuando si se usa con buen criterio técnico fundamentado.

La International Electrotechnical Commission (IEC, 1989) define el factor de potencia como la relación de la potencia activa absorbida al valor de la potencia reactiva. Esto corresponde

al $\tan \delta$. El Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE,) lo define diferente, pues lo considera como la relación de la potencia disipada en el aislamiento en Watts, con el producto del voltaje efectivo y la corriente en voltio-amperios (VA) cuando se prueba usando voltaje sinusoidal. El factor de potencia del aislamiento se expresa en forma porcentual. La medición del factor de potencia en fábricas es un valor comparativo y útil, pues es para asegurarse de la buena condición de los aislamientos internos del transformador. No se ha podido establecer un valor estándar de factor de potencia por las siguientes razones:

- *Hay una pequeña o ninguna relación entre el factor de potencia y la capacidad del transformador de soportar las pruebas dieléctricas prescritas.*
- *La variación del factor de potencia con la temperatura es errática pues no es correlacionable.*
- *El aceite dieléctrico y los materiales aislantes usados en transformadores resultan en grandes variaciones en el aislamiento del factor de potencia.*

Cuando el factor de potencia del aislamiento se mide a una temperatura de aislamiento (promedio de temperatura del aceite) sobre o menos 20 °C, deberá ser corregido a 20 °C. Ese factor de corrección dependerá de los materiales aislantes, su estructura y, por supuesto, la humedad.

Descripción de las muestras

Se realizó un muestreo de seis diferentes tipos de materiales aislantes sólidos de uso común en un proceso de reparación. A continuación, se describe de forma detallada su uso, dimensiones y tratamientos especiales para hacer las pruebas:

- *Madera:* La madera fue extraída de un transformador que se desechó porque no se disponía de dicho material nuevo para reparaciones. Para la prueba, las muestras se toman del mismo material y se preparan dos iguales, llamadas *madera A* y *madera B*.
- *Cartón pretensado de 60 mm:* Material laminado de cartón pretensado y unido con resinas hasta formar un espesor de 60 mm. Se encuentra disponible en diferentes espesores. Las muestras tomadas son para material usado (*pretensado C* y *pretensado D*) y nuevo (*pretensado A* y *pretensado B*).
- *Cartón pretensado de 1 mm:* Para diferenciarlo, a este material se le llamará solamente *cartón*. Las muestras se tomaron de los materiales nuevos disponibles y se escogió este ya que es de uso común en la reparación de transformadores.
- *Riel con figura de cola milano (6,5 x (15 x 20) mm):* Se tomó del material disponible nuevo y se le llama *Riel* en esta investigación.
- *Riel rectangular (3,5 x 38,5 mm):* Este material dieléctrico se utiliza para darle vías de enfriamiento y altura a las bobinas, comúnmente se le llama *calza*. Se utilizó material disponible nuevo para la reparación de transformadores.
- *Bobinas:* La *bobina A* se construyó con material de cobre almacenado que nunca había sido utilizado y la *bobina B* se elaboró con material de cobre de una bobina que se desechó. La idea de tener dos tipos de bobinas es emular una reparación bajo condiciones normales, es decir, cuando se extrae la parte activa de un transformador nuevo y otro usado.

Secado previo de los materiales dieléctricos

Con el propósito de comparar resultados, se obtienen dos muestras de cada material, una de las cuales es secada con el proceso de aceite caliente con alto vacío -tal y como se hace con un transformador de potencia en la vida real- y la otra al horno. A continuación, en el cuadro 4 se indican los materiales que fueron sometidos a los diferentes procesos de secado.

Cuadro 4. Proceso de secado para cada uno de los materiales en estudio

Materiales secados al vacío y aspersión de aceite	Materiales secados al horno
Madera A	Madera B
Pretensado A	Pretensado B
Pretensado C	Pretensado D
Cartón A	Cartón B
Calza A	Calza B
Riel A	Riel B
Bobinas A y B	

Aplicación de técnicas e instrumentación para los ensayos y pruebas

A los materiales tales como maderas, pretensados, cartones, calzas y rieles se les aplicó la *Resistencia del aislamiento* por 2400 horas, a 1000 voltios durante 60 segundos. Las bobinas se probaron de manera diferente a la anterior, ya que fueron sumergidas en aceite dieléctrico, para ello tuvieron que ser colocadas en un pequeño tanque destinado para tal fin y este proceso se realizó al principio y al final de las 14 semanas.

Resultados

Durante las 14 semanas que se mantuvieron las 12 muestras (*maderas, pretensados, cartón, calzas y rieles*) de materiales aislantes sólidos, se les practicaron 68 pruebas de resistencia de aislamiento, cuatro muestras de peso y cuatro de dimensiones; estas probetas estuvieron expuestas por 2400 horas en ambientes no controlados en condiciones similares a las de las intervenciones en los transformadores de potencia. A continuación se detalla cada uno de los materiales en experimento. *En promedio, siempre se midió 25 °C y un 61% de humedad relativa durante el muestreo.* Se analiza por separado cada una de las muestras:

Maderas A y B: La madera A recibió un tratamiento de secado similar a un transformador de potencia, ya que fue sometida a alto vacío y aspersión de aceite; mientras que la madera B fue secada al horno. A pesar de ser el mismo material, *los valores obtenidos fueron distintos.* En la figura 6 se muestra el comportamiento en las 2400 horas de estar en exposición y los valores obtenidos mediante la prueba de resistencia al aislamiento.

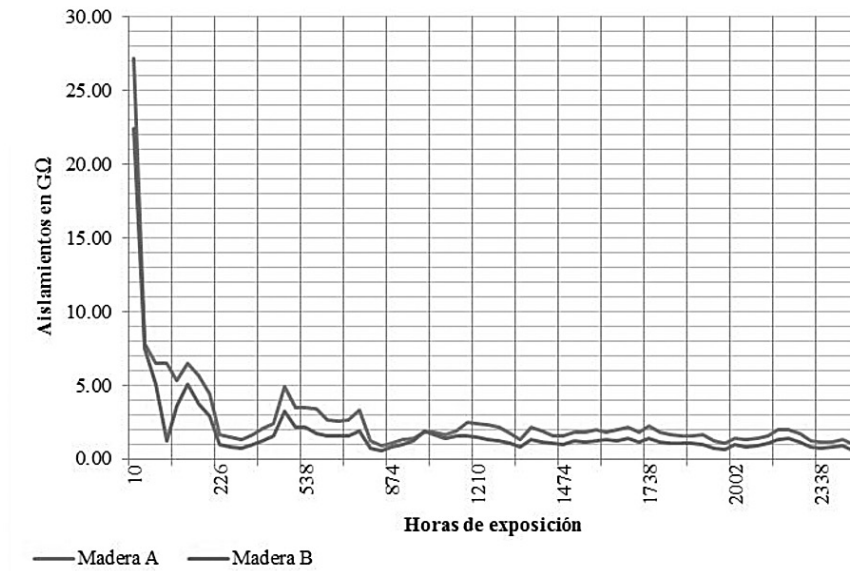


Figura 6. Comportamiento de las maderas A y B durante 2400 horas de exposición en ambientes no controlados

Pretensados A y B: El pretensado A tuvo un tratamiento de secado a alto vacío y aspersion de aceite, mientras el B fue secado al horno. En la figura 7 se observa el comportamiento en las 2400 horas y los valores obtenidos mediante la prueba de resistencia al aislamiento.

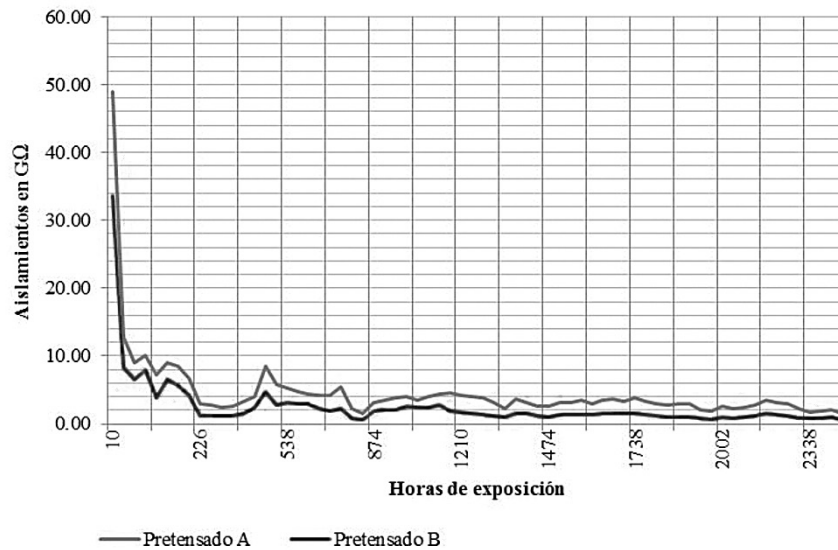


Figura 7. Comportamiento de los materiales pretensados A y B durante 2400 horas de exposición en ambientes no controlados

Pretensados C y D: El pretensado C tuvo un tratamiento de secado a alto vacío y aspersion de aceite, mientras el pretensado D fue secado al horno. En la figura 8 se observa el comportamiento en las 2400 horas y los valores obtenidos mediante la prueba de resistencia al aislamiento.

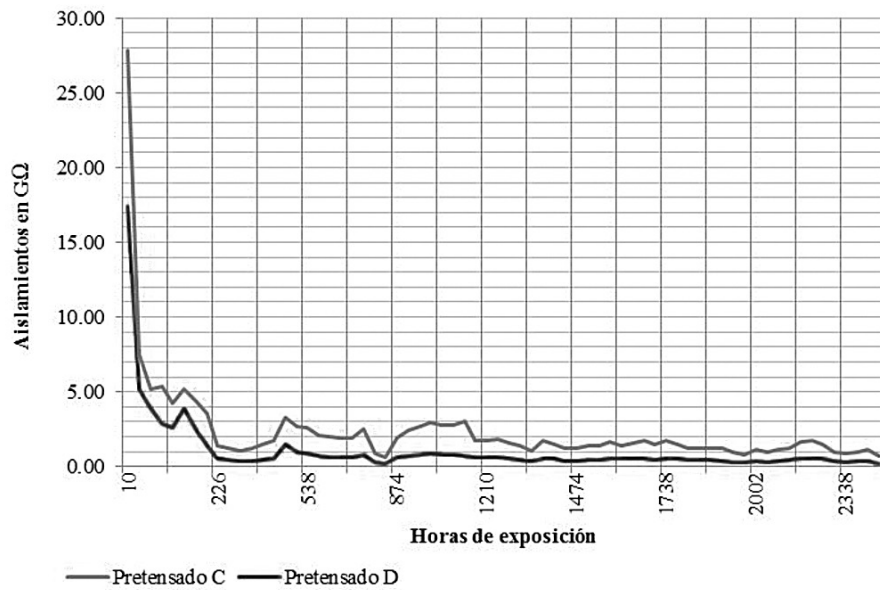


Figura 8. Comportamiento de los materiales pretensados C y D durante 2400 horas de exposición en ambientes no controlados

Cartones A y B: El cartón A es el que tuvo el mayor valor de resistencia pues recibió un tratamiento de secado a alto vacío y aspersión de aceite; el cartón B fue secado al horno. En la figura 9 se muestran los comportamientos en las 2400 horas de estar en exposición.

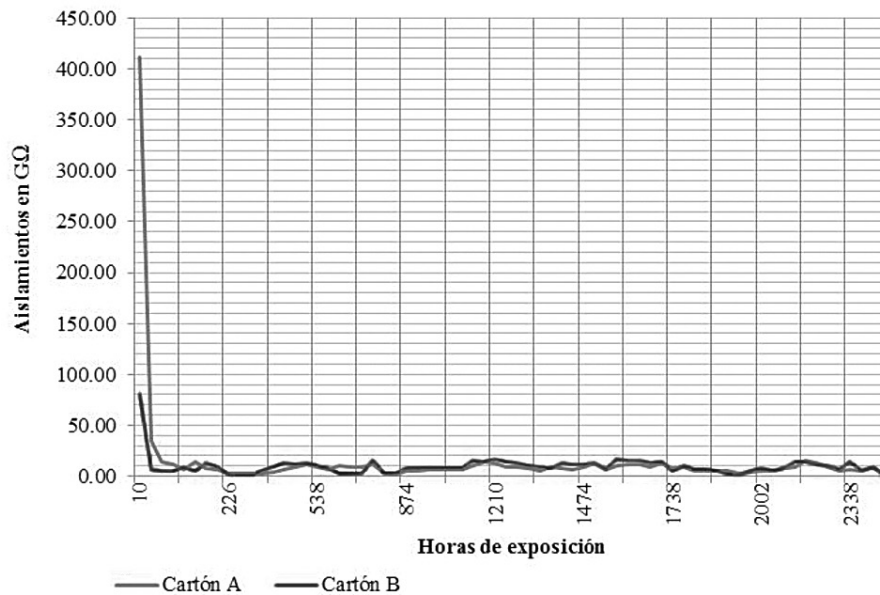


Figura 9. Comportamiento de los cartones A y B durante 2400 horas de exposición en ambientes no controlados

Calzas A y B: La calza A fue sometida a un proceso de secado a alto vacío y aspersión de aceite y la calza B al horno. En la figura 10 está el comportamiento en las 2400 horas de estar en exposición contra los valores obtenidos mediante la prueba de resistencia al aislamiento.

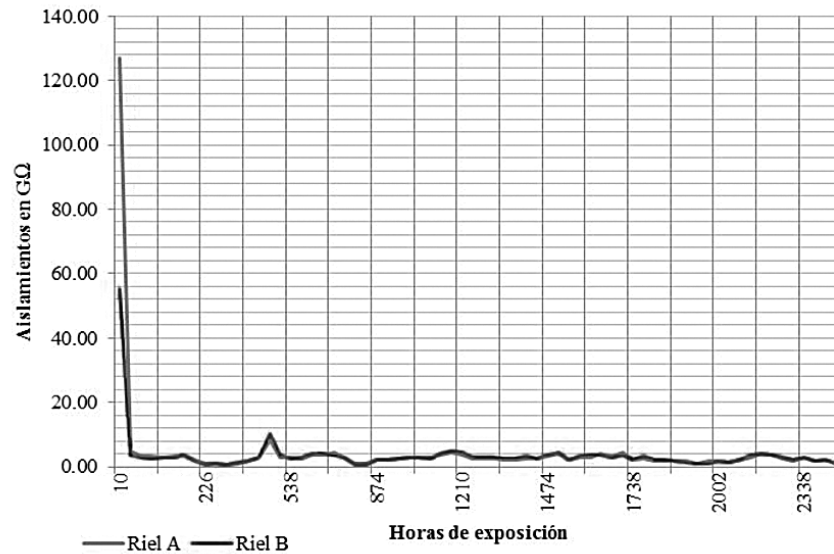


Figura 10. Comportamiento de los calzas A y B durante 2400 horas de exposición en ambientes no controlados

Rieles A y B: El riel A fue sometido a un proceso de secado a alto vacío y aspersión de aceite y el riel B fue secado al horno. En la figura 11 se representa el comportamiento en las 2400 horas de estar en exposición contra los valores obtenidos mediante la prueba de resistencia de aislamientos.

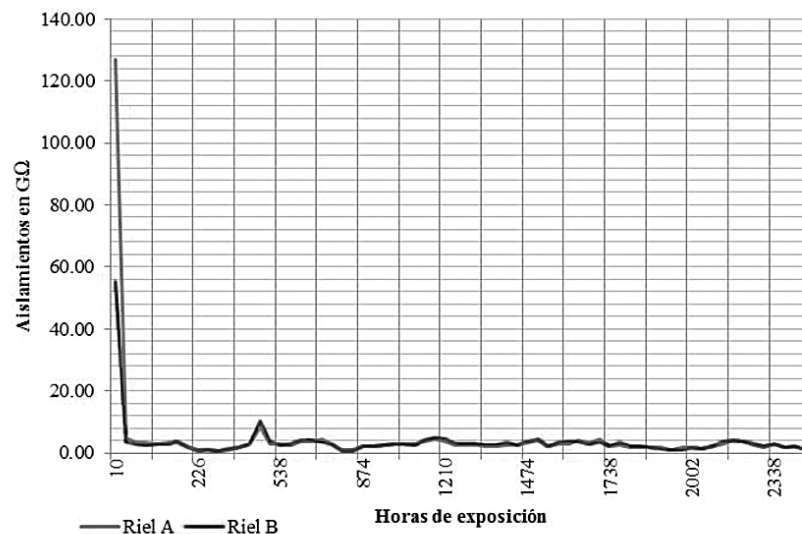


Figura 11. Comportamiento de los rieles A y B durante 2400 horas de exposición en ambientes no controlados

Todas las pruebas anteriores se hicieron a una temperatura promedio de 25 °C y 61% de humedad relativa durante 2400 horas de exposición (100 días). Para las bobinas a y b se observó un incremento de alrededor de 350 gramos de humedad en promedio para las dos. Igualmente, se observó una degradación del índice de polimerización para el caso de la bobina A de 680 a 521. No obstante, la bobina B pasó de 506 a 386 su índice de polimerización; esto representa una degradación importante de las propiedades mecánicas del papel.

Discusión final

Para los aislamientos sólidos, el tiempo crítico se da en las *primeras 24 horas de exposición*. En el cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos. Debido a esto, las primeras 24 horas de exposición son las más críticas y nocivas para un aislamiento sólido.

Cuadro 5. Datos obtenidos en 24 horas de exposición de los aislamientos sólidos en ambientes no controlados

Material	Valor inicial resistencia al aislamiento (GΩ)	Resistencia al aislamiento (GΩ) después de 24 horas	% Disminución de aislamiento
Madera A	27,20	7,85	71,13 %
Madera B	22,40	7,45	66,74 %
Pretensado A	49,00	12,70	74,08 %
Pretensado B	33,60	8,35	75,14 %
Pretensado C	27,08	7,55	73,10 %
Pretensado D	17,40	5,20	70,11 %
Cartón A	412,00	34,60	91,60 %
Cartón B	81,00	5,95	92,65 %
Calza A	183,23	2,60	98,58 %
Calza B	48,51	2,44	94,97 %
Riel A	127,11	4,74	96,27 %
Riel B	55,30	3,70	93,31 %

Al finalizar esta etapa de pruebas que se llevó a cabo por un tiempo aproximado de 2400 horas (100 días), se observa una disminución considerable en los valores de resistencia del aislamiento. Esta reducción se puede observar en el cuadro 6.

Conclusiones

La prueba de resistencia del aislamiento se aplicó a los aislantes sólidos propuestos posteriormente al primer proceso de secado, y se observó una disminución de hasta un *70% con respecto a los valores iniciales* en la capacidad de aislamiento tanto para materiales gruesos como delgados respectivamente en las *primeras 24 horas de exposición*. En todas las muestras analizadas se observó el mismo comportamiento.

Esta disminución de debió principalmente a la concentración de agua en los materiales dieléctricos sólidos muestreados, así como la presencia de contaminantes como polvos, vapores, humos entre otros. Debido a esto, se considera que este tiempo de exposición es los más perjudiciales para la parte activa de un transformador de potencia que se encuentre expuesto a la intemperie.

Cuadro 6. Valores de resistencia de aislamientos después de 2400 horas en ambientes no controlados

Material	Valor inicial de resistencia del aislamiento (GΩ)	Valor final de resistencia del aislamiento (GΩ)	% Disminución de resistencia del aislamiento
Madera A	27,20	0,94	96,54%
Madera B	22,40	0,56	97,52%
Pretensado A	49,00	1,52	96,86%
Pretensado B	33,60	0,60	98,65%
Pretensado C	27,08	0,69	97,53%
Pretensado D	17,40	0,23	98,23%
Cartón A	412,00	2,81	99,32%
Cartón B	81,00	2,06	97,45%
Calza A	183,23	0,80	99,56%
Calza B	48,51	0,70	98,56%
Riel A	127,11	1,06	99,17%
Riel B	55,30	1,08	98,05%

Otro aspecto relevante es que la conducción de electricidad en un material dieléctrico sólido muestra un comportamiento similar indistintamente si el material presenta espesores distintos debido a que esta corriente se da a nivel superficial a causa de la película de agua presente en el material.

Posteriormente al muestreo anterior y hasta los *100 días de ensayo (2400 horas)* se observa una tendencia a mantenerse en valores superiores al 90% de la disminución de la capacidad dieléctrica. Se considera que en esta etapa los materiales se saturan y no tienen capacidad para absorber más humedad. Se presenta una disminución significativa del grado de polimerización, del 26,91% y 58,10% para la bobina A y la bobina B, respectivamente.

El aumento significativo en las dimensiones de las muestras de materiales dieléctricos fue observado tanto para la altura y el peso de las bobinas. Fue debido a la presencia de humedad en el medio ambiente y la facilidad misma que tienden los materiales a absorberla.

Se determina que no solo la humedad es un factor que contribuye al deterioro de los materiales dieléctricos, sino también factores como el ingreso de partículas sólidas, vapores y humos a las instalaciones y la manipulación por parte de personas ajenas a la actividad de la empresa.

Recomendaciones

El desarme y mantenimiento (estancia) de la parte activa de un transformador debe hacerse en un área con ambientes controlados tanto en temperatura como en humedad relativa. De no ser así, se debe minimizar el tiempo de exposición. Por lo tanto la instalación de extractores de vapores, humos y un ambiente controlado en variables de temperatura y humedad relativa sería sumamente importante para conservar los materiales dieléctricos sólidos.

Por último se deben establecer controles para el ingreso de personas ajenas al proceso de mantenimiento de transformadores. Estas personas deberán usar protección para minimizar la presencia en el medio ambiente de partículas sólidas, vapores y otros agentes contaminantes de los aislamientos sólidos.

Bibliografía

CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos). (2007). *Ageing of cellulose in mineral-oil insulated transformers*. Paris: CIGRE.

Hubert, C.L. (1991). *Electric Machines*. Columbus, Ohio, USA: Merrill.

IEC 60076-1. (1989). *IEC 60076-1. High Voltage Test Techniques Part-1: General definitions and test requirements*. Europa: International Electrotechnical Commission (IEC).

Naidu, M.S. & Kamaraju, V. (2009). *High Voltage Engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

Las enfermedades de transmisión sexual y la salud sexual del costarricense

Tema I. SIDA/VIH

Sexually Transmitted Diseases (STDs) and Sexual Health in Costa Rica

Topic I. HIV / AIDS

William Gutiérrez-Sandí¹, Christian Blanco-Chan²

Fecha de recepción: 15 de enero de 2016

Fecha de aprobación: 3 de abril de 2016

Gutiérrez-Sandí, W; Blanco-Chan, C. Las enfermedades de transmisión sexual y la salud sexual del costarricense. Tema I. SIDA/VIH. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 117-131. DOI: 10.18845/tm.v29i3.2892



- 1 PhD. Bachiller en Ingeniería Electrónica. Diploma de Estudios Avanzados en Ingeniería de Proyectos. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona, España. Doctor en Ingeniería de Proyectos Universidad Internacional Iberoamericana (UNINI), Puerto Rico. Estudiante de Licenciatura en Medicina y Cirugía, Universidad Internacional de la Américas. San José, Costa Rica. Teléfono: (506)7120-4847. Correo electrónico: wgutierrez@hotmail.com
- 2 PhD. Doctor en Medicina y Cirugía, UNIBE, Costa Rica. Especialista en Patología Tumoral. Universidad de Salamanca (USAL), Salamanca, España. Director del Centro Internacional de Simulación Médica, UNIBE. Teléfono: (506)2240-0403 correo electrónico: c.blanco@unibe.ac.cr

Palabras clave

Enfermedades de transmisión sexual; OMS; OPS; Ministerio de Salud; Vigilancia Epidemiológica; sida; VIH, manifestaciones sida.

Resumen

Las enfermedades de transmisión sexual (ETS) son causadas por más de 30 bacterias, virus y parásitos diferentes, y se propagan de manera predominante por contacto sexual, incluidos el sexo vaginal, anal y oral.

Algunas ETS se pueden propagar por contacto sexual cutáneo; los organismos causantes también lo hacen por medios no sexuales, como las transfusiones de productos sanguíneos y los trasplantes de tejidos. Muchas ETS, especialmente clamidiasis, gonorrea, hepatitis B, VIH, VPH, HSV2 y sífilis, se pueden transmitir también de la madre al niño durante el embarazo y el parto.

Una persona puede tener una ETS sin manifestar síntomas de la enfermedad. Por consiguiente, el concepto “infección de transmisión sexual” es más amplio que el de “enfermedad de transmisión sexual”. Los síntomas comunes de las ETS incluyen flujo vaginal, secreción uretral en los hombres, úlceras genitales y dolor abdominal.

Entre los más de 30 agentes patógenos que se transmiten por contacto sexual, ocho se han vinculado a la máxima incidencia de enfermedades. De esas ocho infecciones, cuatro son curables, a saber, sífilis, gonorrea, clamidiasis y tricomoniasis. Las otras cuatro, hepatitis B, herpes, VIH y VPH, son infecciones virales incurables que, no obstante, se pueden mitigar o atenuar con tratamiento.

El presente estudio se divulgará en tres partes que cubrirán las infecciones más comunes por bacterias, virus y hongos, así como los hábitos y cuidados que deben tener las personas con una vida sexual activa para no ser infectadas por alguna ETS.

En esta primera parte se desarrolla el tema del SIDA/VIH y su impacto a nivel global, regional y nacional. Cada una de las entregas posteriores será un complemento del número anterior, de manera que se pueda ir instruyendo al lector en los cuidados y manejo de cada patología descrita.

Keywords

Sexually Transmitted Diseases (STDs); World Health Organization (WHO); Pan American Health Organization (PAHO); Ministry of Health, Epidemiological Surveillance; AIDS; HIV; AIDS Manifestations.

Abstract

STDs are caused by more than 30 bacteria, viruses and parasites different, and mostly spread by sexual contact, including vaginal, anal and oral sex.

Some STDs can be spread by skin sexual contact. STD-causing organisms can also spread by non-sexual means, for example, blood product transfusions and tissue transplants. Many STDs, especially chlamydia, gonorrhoea, hepatitis B, HIV, HPV, HSV-2 and syphilis, can also be transmitted from mother to child during pregnancy and childbirth.

A person may have an STD without showing symptoms of illness. Therefore, the term “sexually transmitted infection” is broader than “sexually transmitted disease” (STD). Common symptoms of STDs include vaginal discharge, urethral discharge in men, genital ulcers and abdominal pain.

Among the more than 30 known pathogens are transmitted by sexual contact, eight have been linked to high incidence of diseases. Of those eight infections, four are currently curable, namely, syphilis, gonorrhea, chlamydia and trichomoniasis. Four, other hepatitis B, herpes, HIV and HPV are incurable viral infections, however, they can mitigate or lessen with treatment.

This study is being communicated in three volumes where the most common bacterial, viral, fungal be covered, as well as habits and care that should have people who maintain an active sex life not to be infected by an STD.

In this first installment will be developed the theme of HIV / AIDS and its impact at global, regional and national levels. Therefore, each of the subsequent deliveries will complement the previous number, so you can go instructing the reader in the care and management of each condition described.

Introducción

Tanto las personas adolescentes como las adultas sexualmente activas son propensas a adquirir ETS y VIH/SIDA por factores de riesgo como desconocimiento, sexo temprano, drogadicción, desigualdad social y de género y mitos. Las ETS más comunes son gonorrea, sífilis, virus del papiloma humano (VPH), virus del herpes simple (VHS) y tricomonosis. Todas se transmiten por vía sexual, sin embargo, la sífilis y la tricomonosis se pueden adquirir por otras vías de contacto. El sida es ocasionado por el retrovirus VIH (virus de Inmunodeficiencia Humano), de transmisión sexual y transfusión sanguínea, que se presenta en varias fases y lleva a la muerte. Los datos estadísticos de ONUSIDA/OMS (2006) muestran prevalencia de sida en población de 15 a 49 años. En Costa Rica, por cada 10.000 habitantes hay 2.7 con el virus VIH/SIDA, según el último informe del Estado de la Nación (2014).

Es común que aparezcan nuevos casos de ETS, el 90% de ellos entre los 15- 30 años y sobre todo en menores de 25 años. Entre los métodos de prevención efectivos están la abstinencia y el uso del condón masculino y femenino. Respecto a los geles de nonoxinol-9, los estudios demuestran su ineficacia, mientras que las vacunas para el VPH todavía están en estudio. En Costa Rica, están tipificados los delitos de Propagación de enfermedades infecto-contagiosas y Contagio venéreo, también está vigente la Ley General del VIH/SIDA, N° 7771; además de la legislación que protege a adolescentes y la población en general de la violación sexual y el abuso sexual. Es necesario informar a los adolescentes sobre las ETS y el sida, porque es una población susceptible de padecer estas enfermedades. No obstante la mencionada legislación, el derecho y la normativa parecen ir atrás de las necesidades de los posibles afectados.

Existen muchas ETS, sin embargo, las más representativas en Costa Rica y en los países latinoamericanos son VPH, gonorrea, sífilis y tricomoniasis y es muy importante el sida.

Esta primera parte de la investigación trata la problemática del VIH/SIDA y su impacto a nivel global, regional y local. Para una mejor comprensión del tema, es conveniente entender en que consiste esta enfermedad, sus síntomas, signos de alerta y mecanismos de diagnóstico, para poder enfrentarla.

VIH/SIDA

Agente etiológico y generalidades

El sida fue reconocido en 1981 en Estados Unidos (EE.UU.) por el Center for Disease Control and Prevention (CDC), ya que se encontró una neumonía por *Pneumocystis jiroveci* en cinco varones homosexuales previamente sanos y un sarcoma de Kaposi en 26 varones homosexuales previamente sanos. Sin embargo, es en 1983 que se aísla el virus de inmunodeficiencia humana (VIH). Este agente etiológico pertenece a la familia de los retrovirus humanos: retroviridae, de la familia lentivirus, y se aislaron dos formas del VIH, denominadas VIH-1 y VIH-2.

Periodo de incubación

La infección por el VIH puede dividirse en tres fases:

- *Infección primaria*: de 3 a 6 semanas de duración.
- *Periodo latente*: de 7 a 10 años.
- *Fase final*: corresponde a la enfermedad (sida), propiamente dicha.

Diagnóstico

El diagnóstico de la infección se realiza por:

- i. Demostración de los anticuerpos anti-VIH
- ii. Detección directa del VIH o de alguno de sus componentes
- iii. Ambos

Los anticuerpos anti-VIH suelen aparecer en la circulación sanguínea de 2 a 12 semanas después de la infección. Las pruebas utilizadas para el diagnóstico son:

- *ELISA*: es la prueba convencional de detección enzimática del VIH, su sensibilidad supera el 99,5%. Consiste en un equipo convencional del ELISA que contiene los antígenos del VIH-1 y el VIH-2.
- *Western Blot*: es la prueba de confirmación más utilizada, en la que múltiples antígenos del VIH de peso molecular diferente y bien caracterizados despiertan la producción de anticuerpos específicos. La prueba se considera negativa cuando no existen bandas a pesos moleculares.

Manifestaciones clínicas

La clínica de la infección por VIH depende de la fase de la enfermedad:

- *Fase inicial*: afecta del 50 al 70% de los adultos, tres a seis semanas después del contagio, caracterizándose por síntomas inespecíficos tales como odinofagia, fiebre, mialgias, y algunas veces erupción cutánea. Esta etapa se caracteriza por una alta tasa producción del virus, viremia, diseminación a los tejidos linfáticos y un descenso de los linfocitos CD4+. Sin embargo, se presenta una respuesta inmune frente al virus (3 a 17 semanas), permitiendo que la viremia ceda y que el recuento de CD4+ regrese casi a la normalidad.
- *Fase latente crónica*: el paciente se mantiene asintomático; pueden presentarse adenopatías persistentes o leves infecciones oportunistas. Esta fase se caracteriza por el confinamiento y la replicación silenciosa del virus en los tejidos.

- *Fase final*: es la enfermedad del sida propiamente dicha; hay un derrumbe de las defensas del huésped y un aumento importante de la viremia. En esta etapa aparecen las enfermedades definitorias del sida, tales como infecciones oportunistas, neoplasias secundarias y manifestaciones neurológicas, que finalmente pueden llevar a la muerte del paciente.

Mecanismos de transmisión

Los principales mecanismos de transmisión del VIH son los siguientes:

- Transmisión sexual; en general el 42% de nuevos casos se da por contagio homosexual y un 33% corresponde a infecciones por contagio heterosexual.
- Transfusiones sanguíneas, trasplantes y uso compartido de jeringas para drogas.
- En cuanto a la transmisión materno-fetal, la probabilidad es de 23-30% antes del nacimiento, de 50-65% durante este y de 12-20% durante la lactancia.
- El virus se encuentra en pequeñas cantidades en la saliva; sin embargo, no representa un mecanismo de transmisión.
- No hay pruebas de que el VIH se transmita como consecuencia de contactos con lágrimas, sudor u orina.

Materiales y métodos

Para efectos de este trabajo de investigación y revisión bibliográfica, se realizó la recolección de fuentes primarias y secundarias. Para ello se utilizaron varios instrumentos básicos de recolección de información.

Recolección de datos de fuentes primarias

Se procedió a buscar personalmente toda la información en el servicio de Vigilancia Epidemiológica del Ministerio de Salud (MS) de Costa Rica.

Además, se contó con la asesoría de profesionales en salud que se desempeñan como médicos asistentes y/o epidemiólogos con una estrecha relación con el área de infecciones.

Recopilación de datos de fuentes secundarias

Como segunda fuente para la recopilación de datos se utilizó internet, ya que esta herramienta sirvió para acceder a información y estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), la sección de Vigilancia Epidemiológica del MS, así como para tener acceso a estudios hechos por sociedades internacionales relacionadas con el manejo de las infecciones de transmisión sexual.

Instrumentos de medición para la recolección de datos

Se utilizaron algunos instrumentos de medición para poder recopilar y analizar la información, entre ellos los siguientes:

1. *Entrevista*. Se realizó una entrevista con expertos en epidemiología y enfermedades infecciosas, con el fin de que los temas por revisar tuviesen una orientación dirigida.

2. *Instrumentos para la recopilación de datos.* Este instrumento consiste en la elaboración de una base de datos con las estadísticas generadas por la OMS, la OPS y la sección de Vigilancia Epidemiológica del MS. A partir de dicha información se hizo un análisis en línea descendente, partiendo de lo más general (estado de la enfermedad a nivel global) a lo más particular (estado de la enfermedad en Costa Rica). Dicho análisis comprende el decenio de 2002 a 2012.
3. *Resultados.* Por último la información se integró de manera que pudiera ser de fácil acceso y comprensión para el público general, es decir, no necesariamente profesional del área de salud.

Levantamiento de datos y discusión de resultados

Magnitud del problema a nivel global de las ETS (SIDA/VIH)

Las ETS tienen efectos profundos en la salud sexual y reproductiva en todo el mundo y figuran entre las cinco categorías principales por las que los adultos buscan atención médica.

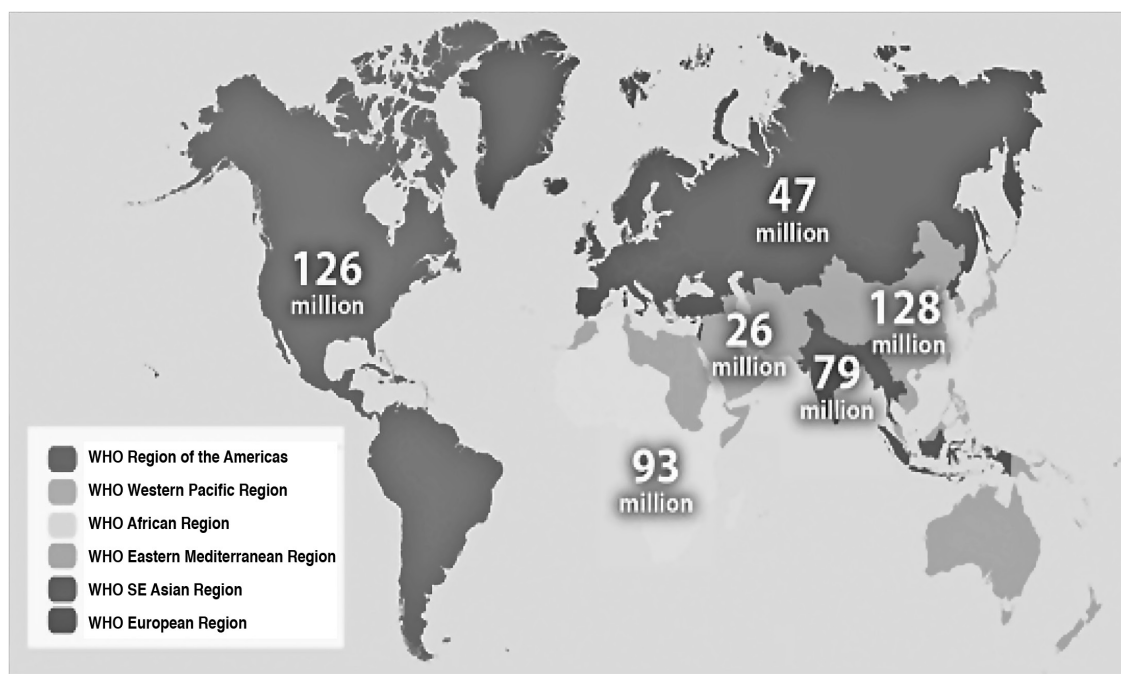


Figura 1. Distribución global de las enfermedades de transmisión sexual. Fuente: OMS (2015).

Cada día, más de 1 millón de personas contraen una infección de transmisión sexual. Se estima que anualmente unos 500 millones de personas contraen alguna de las cuatro infecciones de transmisión sexual siguientes: clamidiasis, gonorrea, sífilis o tricomoniasis. Más de 530 millones de personas son portadoras del virus que provoca el virus herpes genital tipo 2 (HSV2). Más de 290 millones de mujeres están infectadas con VPH, una de las ETS más comunes (OMS, 2015).

Cifras y datos

- Cada día, más de 1 millón de personas contraen una enfermedad de transmisión sexual (ETS).

- Se estima que, anualmente, unos 500 millones de personas contraen alguna de las cuatro infecciones de transmisión sexual siguientes: clamidiasis, gonorrea, sífilis o tricomoniasis.
- Más de 530 millones de personas son portadoras del virus que provoca el HSV2.
- Más de 290 millones de mujeres están infectadas con el VPH.
- La mayor parte de las ETS son asintomáticas.
- Algunas ETS pueden triplicar con creces el riesgo de infección con el VIH.
- Más allá del efecto inmediato de la infección en sí misma, las ETS pueden tener consecuencias graves, entre ellas la transmisión de infecciones y enfermedades crónicas de la madre al niño.
- La farmacorresistencia, especialmente en relación con la gonorrea, es un obstáculo importante que dificulta la reducción de las ETS en todo el mundo.

Magnitud del problema a nivel regional. Estado de las ETS (SIDA/VIH) en América Latina

Los datos reportados en la presente sección proceden del informe *Salud en las Américas 2007. Vol. II. Países* (PAHO, 2007). La información presentada se seleccionó de los resultados de dicho informe.

El período 2001-2005 estuvo marcado por varias fuerzas positivas a nivel mundial y regional, que tendrán una repercusión directa en la vida de la población si se mantienen y amplían. Los aumentos sustanciales de cada año en el financiamiento para apoyar los esfuerzos regionales y nacionales, junto con el mayor compromiso de los gobiernos, la sociedad civil, el sector privado y la comunidad internacional, pueden cambiar el curso de las epidemias de VIH/SIDA y ETS en las Américas.

Según estimaciones de la OMS y ONUSIDA, a fines de 2005 había aproximadamente 3.230.000 personas con VIH en las Américas, de las cuales el 60% (1.940.000) vivía en América Latina y el Caribe. La epidemia se está extendiendo; durante 2005 hubo al menos 220.000 nuevos casos de infección por el virus y hasta diciembre del mismo año se había notificado un número acumulativo de 1.540.414 casos de sida, de los cuales 30.690 (2%) correspondían a menores de 15 años de edad. Se estima que estas cifras distan mucho de la realidad, debido al bajo registro y a la demora en la notificación.

Cifras y datos

Dentro de las ETS, una de las más agresivas y difíciles de controlar es el SIDA/VIH. En el cuadro 1 se muestra el comportamiento de dicha patología en el contexto de América Latina.

Factores determinantes socioeconómicos y factores multiplicadores para la transmisión del VIH

Como muestran los resultados del informe de 2007 de la OPS, la marginación socioeconómica aumenta la vulnerabilidad a la infección por el VIH. Esto, combinado con las inequidades de género y una tendencia a incurrir en comportamientos de riesgo, incluyendo el sexo sin protección y el uso de alcohol y drogas, vuelven a los menores de 25 años -que representan 30% de la población de la región- sumamente susceptibles al VIH (PAHO, 2007).

Edad temprana para el inicio de la vida sexualmente activa

En una encuesta llevada a cabo por la OPS/OMS en el Caribe en 2003, alrededor de un tercio de los jóvenes (con edades de 10 a 18 años) informó ser sexualmente activo. De estos, casi la mitad dijo que su primera experiencia sexual había sido forzada y casi dos tercios mencionaron que tuvieron relaciones sexuales antes de los 13 años de edad. De los jóvenes sexualmente

activos, solo la cuarta parte usó siempre un método de control de la natalidad. Muchos de los sexualmente activos señalaron su preocupación sobre contraer el sida, pero solo poco más de mitad usó condón en su última relación.

Cuadro 1. Prevalencia del VIH en hombres que tienen relaciones sexuales con hombres y en trabajadoras del sexo, según varias encuestas en países de América Central y el Área Andina. Fuente: Montano (2005).

	Número de encuestados	Porcentaje con VIH
Hombres que tienen relaciones sexuales con hombres		
El Salvador (2002)	356	17,7%
Guatemala (2002)	165	11,5%
Honduras (2001)	349	13%
Capital política (Tegucigalpa)	171	8,2%
Capital económica (San Pedro Sula)	178	16,0%
Nicaragua (2002)	199	9,3%
Panamá (2002)	432	10,6%
Bolivia (La Paz, 1999–2001)	48	14,6%
Santa Cruz (2001–2002)	186	23,7%
Otras 3 ciudades (2002)	52	15,4%
Colombia (Bogotá, 2002)	660	19,7%
Ecuador (Quito, 1999–2001)	263	14,4%
Guayaquil (1999–2001)	227	27,8%
Otras 4 ciudades portuarias (2001–2002)	142	2,8%
Perú (Lima, 1999–2000)	7.041	13,7%
Provincias (rural, 1999–2000)	4	6,1%
Trabajadoras del sexo		
El Salvador (2002)	491	3,6%
Guatemala (2002)	536	4,5%
Honduras (2001)	535	n/a
Capitales (2001)	369	10,9%
Puertos (Puerto Cortés, San Lorenzo (2001)	163	8,2%
Nicaragua (2002)	463	n/a
Capital (Managua, 2002)	324	0,0%
Puertos (Corinto, Bluefields, 2002)	139	1,4%
Panamá (2002)	432	n/a
Capital (Panamá, 2002)	291	1,9%
Colón (2002)	141	2,1%
Bolivia (Santa Cruz, 2001)	195	0,5%
3 ciudades en la frontera con Argentina (2002)	77	0%
Colombia (Bogotá, 2001–2002)	514	0,8%
Ecuador (Quito, 2001–2002)	200	0,5%
Guayaquil (2001–2002)	1.047	2,1%
Perú (Lima, 1999–2000)	3.347	1,6%
Provincias (rural, 1999–2000)	4.930	0,6%
Venezuela (Isla Margarita, 2002)	652	0,0%

Niños huérfanos por el sida

Cuando un niño pasa a la condición de huérfano por causa del VIH, se encuentra en desventaja, aun los que no están infectados. La razón es que carecen del apoyo y aliento ofrecidos por un ambiente familiar estable. Dicha situación puede aumentar su vulnerabilidad y la probabilidad de que incurran en comportamientos de alto riesgo. Para aquellos con VIH, las formulaciones pediátricas de antirretrovíricos siguen siendo sumamente inadecuadas (PAHO, 2007).

Condición de inequidad de género y las múltiples parejas sexuales

La inequidad de género sigue siendo un tema central con respecto al VIH en la región. En 2005, más de un tercio de las nuevas infecciones por VIH en todo el mundo se presentaron en mujeres con parejas de mucho tiempo. En América Latina y el Caribe, un gran número de las mujeres con VIH han sido infectadas por sus esposos o parejas regulares; por ejemplo, en Colombia en 2005, tenían relaciones estables el 72% de las mujeres que resultaron seropositivas al VIH en los proyectos para prevenir la transmisión de madre a hijo, y el 90% se describieron a sí mismas como “amas de casa”, de acuerdo con el estudio regional de la OPS (PAHO, 2007).

El negocio global de las drogas, y su consumo por vía intravenosa, han producido un impacto alto en los mecanismos de propagación de la enfermedad. El consumo de drogas inyectables desempeña un papel importante en la propagación de la epidemia, en particular en América del Norte y Suramérica (PAHO, 2007). En 2004, en algunas ciudades de Brasil la tasa de prevalencia de infección por VIH entre los usuarios de drogas inyectables fue 60 veces mayor que en la población general. =

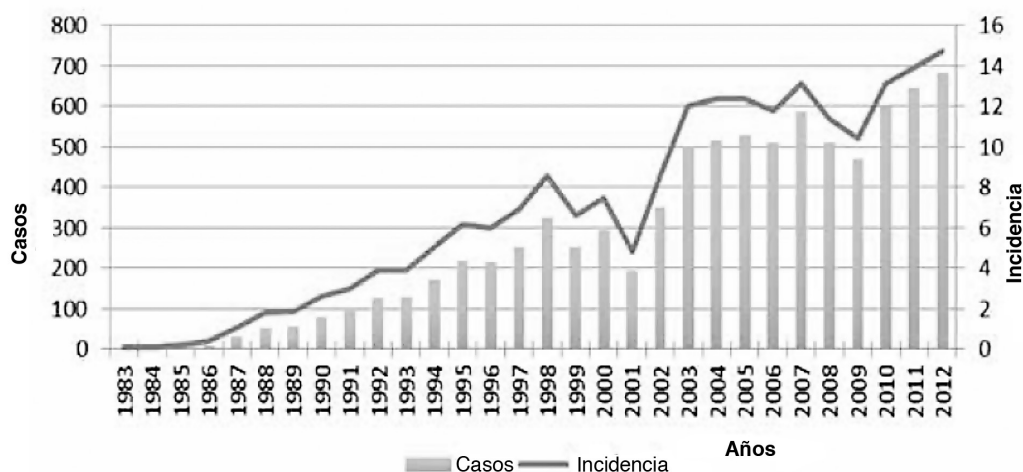
Magnitud del problema a nivel nacional. Condición en Costa Rica de las ETS (SIDA/VIH)

Situación epidemiológica

El primer caso de sida en Costa Rica ocurrió en 1983 en el grupo de pacientes hemofílicos. En 1986 se detectaron los primeros casos en homosexuales y bisexuales. La transmisión perinatal se detecta a partir de 1990, con una tendencia creciente hasta 1995, en que se inicia el tratamiento con Zidovudina (AZT) en las mujeres embarazadas con VIH y a sus fetos (productos de gestación maternos). A partir de 1998 se introduce la terapia antirretroviral.

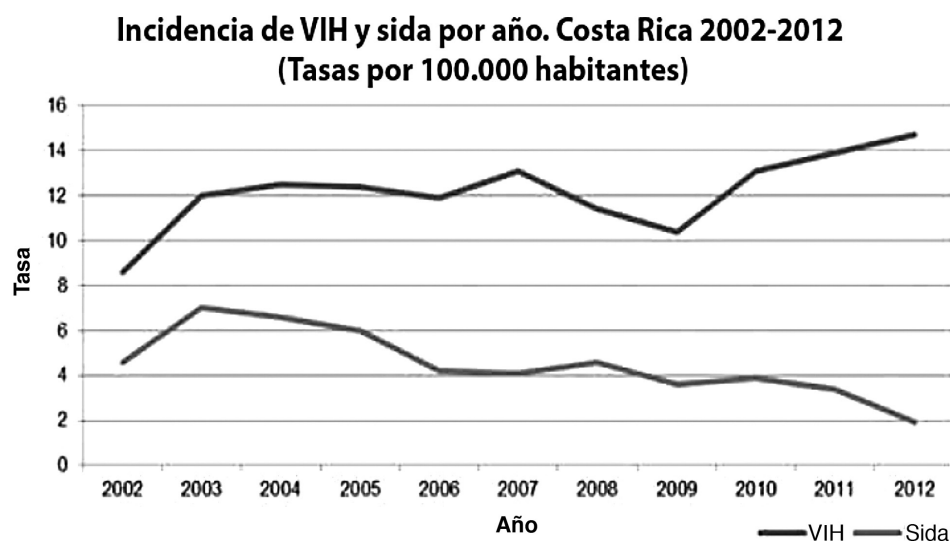
De acuerdo con las estimaciones de ONUSIDA, la prevalencia en población mayor de 15 años es de 0.24, en el grupo de 15 a 24 años es de 0.13 y en el de 15 a 49 es de 0.29. Analizando los casos de VIH y sida para el periodo 2002-2012, se observa un incremento en las tasas de VIH, mientras que el sida muestra una tendencia a la disminución.

Casos y tasas de VIH y sida. Costa Rica 1983-2012
(Tasa por 100.000 habitantes)



Fuente: Vigilancia de la Salud, Ministerio de Salud.

Figura 2. Tasas de VIH/SIDA en Costa Rica 1983-2012



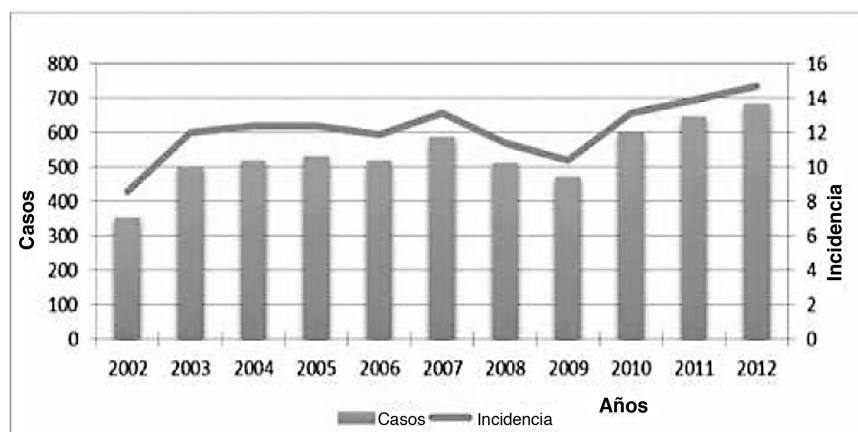
Fuente: Vigilancia de la Salud, Ministerio de Salud.

Figura 3. Incidencia de VIH/SIDA en Costa Rica 2002-2012

Infección por VIH en Costa Rica

En el periodo 2002-2012 se registraron 5.911 casos de VIH (una incidencia para el periodo de 132,0 casos por cada 100.000 habitantes). A partir del año 2002 la tendencia del VIH es ascendente, excepto en 2008 y 2009, debido probablemente al efecto de subnotificación.

Casos y tasas de VIH según año de ocurrencia. Costa Rica 2002 – 2012 (Tasa por 100.000 habitantes)



Fuente: Vigilancia de la Salud, Ministerio de Salud.

Figura 4. Casos y tasas de VIH según año de ocurrencia en Costa Rica 2002- 2012

Los casos nuevos de infección por VIH se presentan básicamente en el sexo masculino (79,4%), siendo la razón hombre/mujer para ese periodo de 3,8:1 (3,8 hombres por cada mujer). El subgrupo de edad de 20 a 44 años concentra el 72,9% de los casos ocurridos en el país en ese periodo.

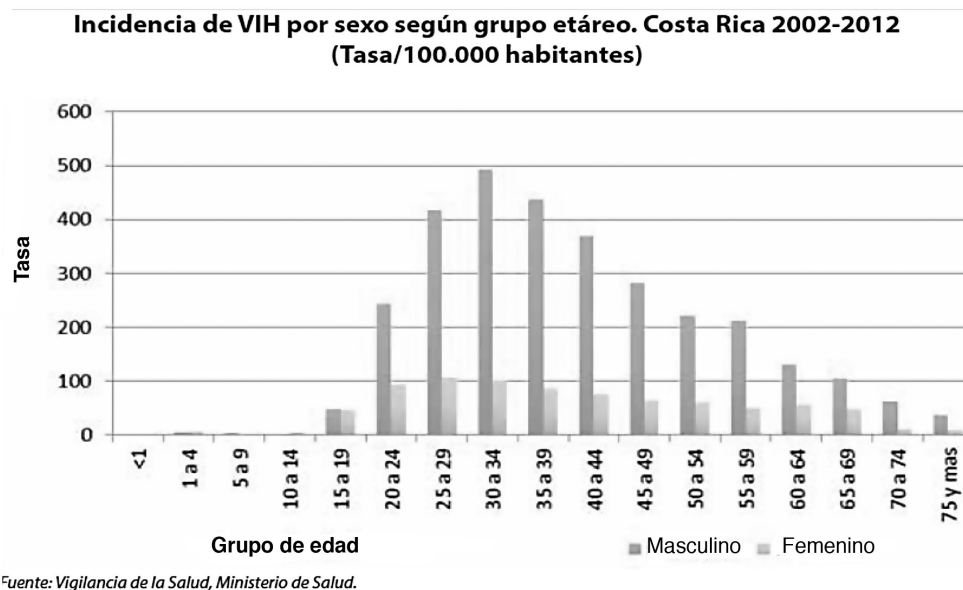


Figura 5. Incidencia de VIH por sexo según grupo etario en Costa Rica 2002 - 2012

La provincia de San José registró la incidencia más alta de infección por VIH para el periodo (182.5/100.000 habitantes), aportando el 49,4% de los casos del país.

Los cantones que presentaron las incidencias más altas por cada 100.000 habitantes fueron San José (328.6), Tibás (283.1), Montes de Oca (258.5), Goicoechea (201.5), Puntarenas (186.1), Curridabat (184.6) y Alajuela (111.8), aportando el 37,5% de los casos del país.

Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (sida)

En el periodo 2002-2012 se registraron 2182 casos de sida (una incidencia de 48,7 por cada 100.000 habitantes). La tendencia es ascendente hasta el año 2003 y a partir de 2004 se observa un descenso en el número de casos.

Casos y tasas de sida según año de ocurrencia. Costa Rica 2002-2012
(Tasas por 100.000 habitantes)

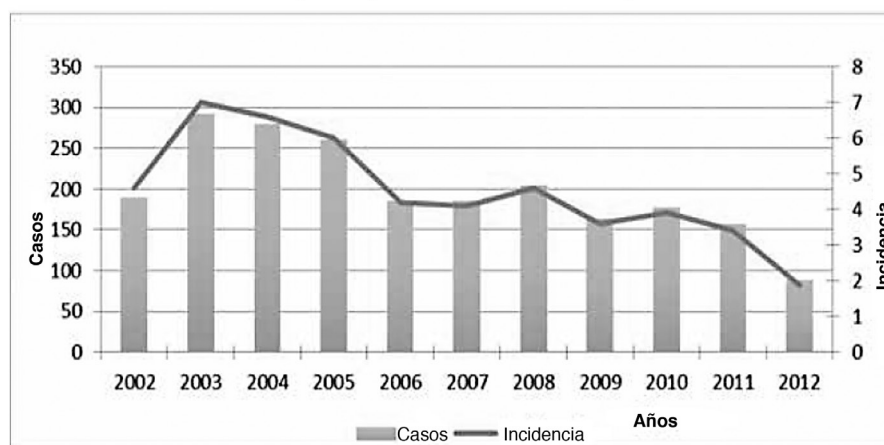
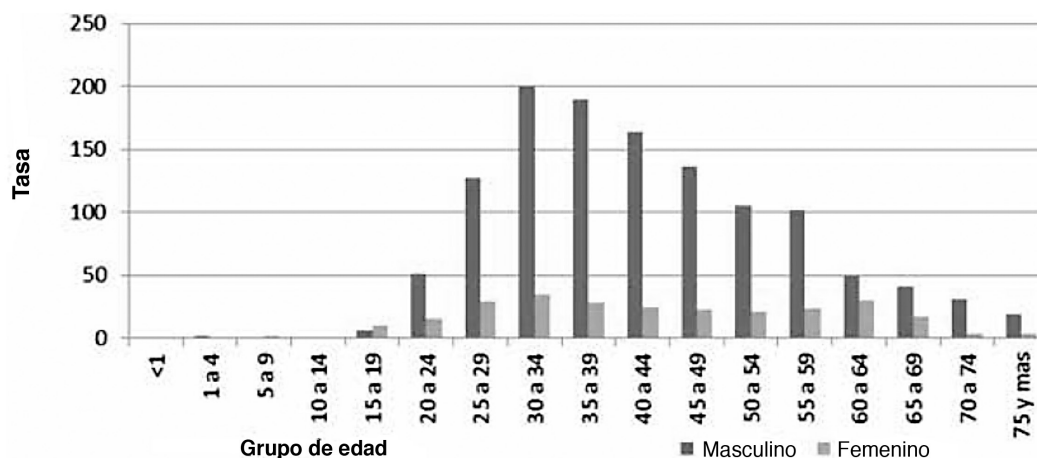


Figura 6. Casos y tasas de sida según año de ocurrencia en Costa Rica 2002-2012

La incidencia de casos de sida depende básicamente del sexo masculino (83,4%) y la razón hombre-mujer para ese periodo fue de 5:1 (5 hombres por cada mujer). El grupo de edad más afectado fue el de 25 a 54 años, aportando el 81,6 % de casos para el periodo.

Incidencia de sida por sexo según grupo etáreo. Costa Rica 2002-2012 (Tasa/100.000 habitantes)



Fuente: Vigilancia de la Salud, Ministerio de Salud.

Figura 7. Incidencia de sida por sexo según grupo etario en Costa Rica 2002-2012

La provincia de San José registró la incidencia más alta por cada 100.000 habitantes (70.6), con el 49,3% de los casos de sida en todo el país.

Los cantones que presentaron las incidencias por cada 100.000 habitantes más altas fueron: San José (125.8), Tibás (133.2), Puntarenas (71.9), Goicoechea (67.7), Heredia (59.4) La Unión (54.5) Desamparados (50.2) y Alajuela (48.8), aportando el 49.8% de los casos del país.

Mortalidad por sida en Costa Rica

A partir de 1985 la tendencia de la mortalidad por sida presentó un incremento sostenido. En 1998, debido a la introducción de la terapia antirretroviral y el aumento gradual de su cobertura, se observa un decremento de casos y la tendencia a la estabilización de la mortalidad.

La mortalidad por sida depende básicamente del sexo masculino (81,8%) y la razón hombre-mujer para ese periodo fue de 4.5:1 (4.5 hombres por cada mujer). Para el periodo 2002-2012, las tasas de mortalidad masculina se mantienen por encima de las tasas nacionales durante todo el periodo de análisis.

El 81,8% de las defunciones fueron del sexo masculino (51.7 por cada 100.000 habitantes). El grupo de edad en el que se registró el mayor número de defunciones fue el de 35 a 54 años, representando el 56,2% del total de muertes por esta causa.

Alternativas de tratamiento disponibles en el mercado para pacientes con VIH/SIDA

El mejor tratamiento consiste en combinar al menos tres fármacos a partir de dos clases diferentes, para evitar la creación de cepas del VIH que son inmunes a los fármacos individuales.

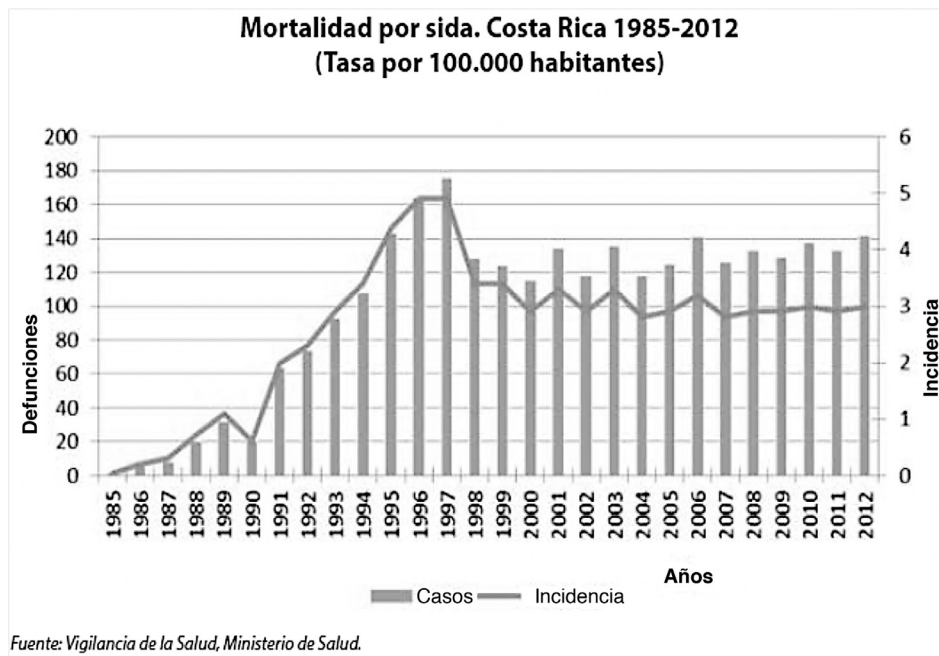


Figura 8. Mortalidad por sida Costa Rica 1985-2012

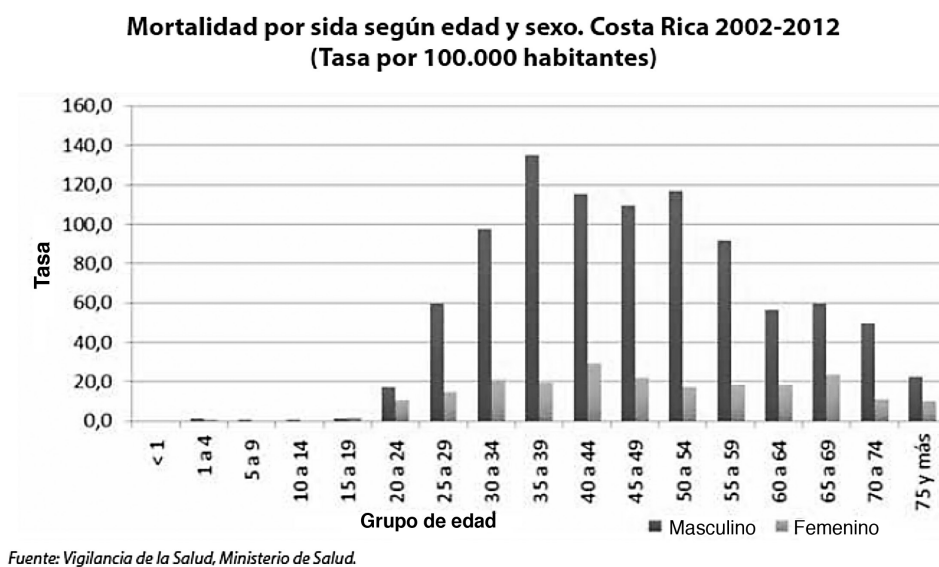


Figura 9. Mortalidad por sida según edad y sexo. Costa Rica 2002-2012

Las clases de medicamentos que se utilizan para tratar el VIH son (Letvin et al, 2003):

- Los inhibidores no nucleósidos de la transcriptasa inversa (NNRTI): efavirenz (Sustiva), etravirina (Intelence) y nevirapina (Viramune).
- Inhibidores de nucleósidos de la transcriptasa reversa (INTR): abacavir (Ziagen), la combinación de emtricitabina y tenofovir (Truvada) y la combinación de lamivudina y zidovudina (Combivir).
- Inhibidores de la proteasa (IP): atazanavir (Reyataz), darunavir (Prezista), fosamprenavir (Lexiva) y ritonavir (Norvir).



- Medicamentos que bloquean la entrada del VIH a las células CD4: enfuvirtida (Fuzeon) y maraviroc (Selzentry).
- Inhibidores de la integrasa: raltegravir (Isentress)

Conclusiones

Las ETS representan un grave problema de salud pública, ya que, como se demostró, afectan a una población económicamente activa y generan cargas a los sistemas de salud por largos periodos de tiempo.

En Costa Rica, la tasa de incidencia y los casos reportados por SIDA/VIH han mantenido una tendencia al aumento en los últimos 30 años, como indican los datos expuestos, gracias a la recopilación y trabajo epidemiológico realizado por el MS.

Es importante recordar que el sida y/o el VIH son condiciones que tienen carácter de declaración obligatoria por parte de los profesionales en salud que las diagnostiquen; así como es de carácter obligatorio para los pacientes comunicar a un tercero su condición si desean mantener relaciones sexuales. A la vez, la condición de paciente portador de VIH o con enfermedad activa como es el sida, es privada y no está autorizada la difusión de esta salvo casos de excepción, como establece la Ley N° 7771, Ley General sobre el VIH-SIDA, publicada en La Gaceta N° 96 del 20 de mayo de 1998, y que desde dicha fecha se encuentra en vigencia.

Como indicó el reporte de PAHO (2007), las condiciones socioculturales tienen una gran influencia a nivel de la región latinoamericana y Costa Rica no es la excepción. Los resultados de vigilancia epidemiológica del MS mostraron que la mortalidad en varones sigue siendo mayor que la mortalidad en mujeres, aunque los datos de este segundo grupo presentaron un aumento. Lo anterior podría suponerse porque los varones son más propensos a tener mayor cantidad de parejas sexuales en edades más jóvenes, sin las condiciones de prevención y madurez emocional para controlar los riesgos a que se exponen.

En Costa Rica, entre 2009-2010 se llevaron a cabo campañas de prevención sobre la vida sexual y los riesgos de contraer alguna ETS. Ello repercutió en una mejora en la incidencia y reporte de casos. Dicha práctica debería ser considerada por las actuales autoridades sanitarias para prevenir, en lugar de curar, a los potenciales pacientes de SIDA/VIH por parte de la seguridad social del país.

Bibliografía

- Binass (2012). *Análisis de Indicadores de Género y de Salud en Costa Rica 2012*. Obtenido de http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=301&Itemid=
- Berger, E.A, Murphy, P.M. & Farber, J.M. (1999). Chemokine receptors as HIV-1 coreceptors: roles in viral entry, tropism, and disease. *Annu. Rev. Immunol.*, 17, 657.
- CCSS (Caja Costarricense de Seguro Social). (2005). *Manual de Consejería en Salud Sexual y Reproductiva para funcionarios en Atención de Adolescentes con énfasis en VIH/SIDA*. San José: CCSS, Departamento de Salud.
- CCSS (Caja Costarricense de Seguro Social). (2013). *Informe Estadístico Anual 2013*. San José: CCSS, Departamento de Información Estadística de los Servicios de Salud.
- Cortés, A., García, R., Fullera, R. & Fuente, J. (2000). Instrumento de trabajo para el estudio de las enfermedades de transmisión sexual y VIH/SIDA en adolescentes. *Revista cubana medicina trop.*, 52(1), 48-54.
- Costa Rica. (2006). *Código Penal*. Artículos 130, 156, 161, 264. 19 ed. San José: IJSA. Costa Rica. (1974). *Ley General de Salud*. Norma en formato digital proporcionado por Legiscom.
- Costa Rica. (1998). *Ley General sobre VIH-Sida*. Norma en formato digital proporcionado por Legiscom.

- Florez, C.E. (2005). Socioeconomic and contextual determinants of reproductive activity among adolescent women in Colombia. *Rev. Panam. Salud Pública*, 18(6), 388-402.
- Gonçalves, S., Castellá, J. & Carlotto, M.S. (2007). Predictores de Conductas Sexuales de Riesgo entre Adolescentes. *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal of Psychology*. 41(2), 161-166.
- Letvin, N.L. & Walker, B.D. (2003). *Immunopathogenesis and immunotherapy in AIDS virus infections*. En: Estado de la Nación, *Compendio Estadístico 2007*. Obtenido de <http://www.estadonacion.or.cr/InformesPDF/XInforme/Compendio.pdf>.
- Ministerio de Salud. (2014). *Análisis de Situación de Salud Costa Rica*. Obtenido de <http://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/vigilancia-de-la-salud/analisis-de-situacion-de-salud/2618-analisis-de-situacion-de-salud-en-costa-rica/file>
- Montano, S.M. (septiembre, 2005). Prevalences, Genotypes, and Risk Factors for HIV Transmission in South America. *Journal of Acquired Deficiency Syndrome*, 1. Central American Multi-site HIV/STI Prevalence and Behaviour Study. Obtenido de http://pasca.org/english/estudio_informes_eng.htm.
- Organización Mundial de la Salud (2012). *Guía sobre indicadores para la vigilancia y notificación de la respuesta del sector salud al VIH/SIDA*. Obtenido de http://www.who.int/hiv/data/UA_2012_Indicator_Guia_es.pdf
- M. Díez, A. Díaz (2011). Infecciones de transmisión sexual: epidemiología y control (Sexually transmitted infections. Epidemiology & Control). *SciELO. Rev. esp. sanid. penit.*, 13(2). Obtenido de http://scielo.isciii.es/pdf/sanipe/v13n2/05_revision.pdf
- Chacón Tatiana et al. (2009). ITS Y SIDA en adolescentes: descripción, prevención y marco legal. *Med. leg. Costa Rica*, 26(2). Obtenido de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152009000200008
- Moscoso, M., Rosario, R. & Rodríguez, L. (2001). Nuestra Juventud Adolescente: ¿Cuál es el riesgo de contraer VIH? *Interamerican Journal Psychology. Sociedad Interamericana de Psicología, Austin, Latinoamericanistas*, 35(002), 79-91.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2015). *Infecciones de transmisión sexual*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs110/es/>
- ONUSIDA. (2006). *Plan Estratégico Nacional para la Prevención, Atención y Asistencia del VIH-SIDA*.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). (2010). *Reporte de Indicadores de Salud*. http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?id=31&option=com_content
- PAHO. (2007). *Salud en las Américas 2007. Vol. II. Países*. Publicación Científica y Técnica No. 622. Obtenido de http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=257&Itemid= ¿es correcto solo Países? Es correcto el nombre, este es el volumen 2.
- PAHO. (2007). *Salud en las Américas 2007. Vol. I. Regional*. Publicación Científica y Técnica No. 622. http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=256&Itemid= Planes, M. et al. (2004). Prevención de la transmisión sexual del VIH en adolescentes. *C. Med. Psicosom*, 71/ 72, 76-85.
- Stern, C., Fuentes, C. & Lozano, L.R. et al. (2003). Masculinity and sexual and reproductive health: a case study among adolescents of Mexico City. *Salud Pública, México*, 45(1), 34-43.
- Théodore, F.L., Gutiérrez, J.P., Torres, P. & Luna, G. (2004). El sexo recompensado: una práctica en el centro de las vulnerabilidades (ITS/VIH/SIDA) de las jóvenes mexicanas. *Salud Pública México*, 46, 104-112
- Torres, P., Walker, D.M., Gutiérrez, J.P. & Bertozzi, S.M. (2006). Estrategias novedosas de prevención de embarazo e ITS/VIH/SIDA entre adolescentes escolarizados mexicanos. *Salud Pública de México*. vol.48, no.4, julio-agosto de 2006. Obtenido de: <http://www.scielosp.org/pdf/spm/v48n4/a05v48n4.pdf>

Aplicación de un método para evaluar el impacto ambiental de proyectos de construcción de edificaciones universitarias

Application of a method for the environmental impact assessment of university construction projects

Jose Carlos Mora-Barrantes¹, Oscar Mario Molina-León²,
Jose Pablo Sibaja-Brenes³

Fecha de recepción: 5 de noviembre de 2015

Fecha de aprobación: 3 de febrero de 2016

Mora-Barrantes, J; Molina-León, O; Sibaja-Brenes, J. Aplicación de un método para evaluar el impacto ambiental de proyectos de construcción de edificaciones universitarias.

Tecnología en Marcha. Vol. 29, N° 3. Pág 132-145.

DOI: 10.18845/tm.v29i3.2893

1 Químico Industrial, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica. Teléfono: (506)22 77 3403. Correo electrónico: jose.mora.barrantes@una.cr

2 Químico Industrial, Vicerrectoría Académica, Universidad Nacional. Costa Rica. Teléfono: (506)22 77 31 39. Correo electrónico: oscar.molina.leon@una.cr

3 Químico Industrial, Escuela de Química, Universidad Nacional. Costa Rica. Teléfono: (506)22 77 3102. Correo electrónico: josepablosibaja@gmail.com



Palabras clave

Evaluación de impacto ambiental; aspectos e impacto ambiental; construcciones; universidad.

Resumen

La evaluación de impacto ambiental consiste en la identificación y valoración de los impactos potenciales de proyectos respecto a los componentes físicos, químicos y biológicos, culturales, económicos y sociales, con el fin de que mediante la planificación y la correcta toma de decisiones se desarrollen aquellas actuaciones más compatibles con el medio ambiente. El objetivo principal es asegurar que las consideraciones ambientales sean explícitamente expresadas e incluidas en el proceso de toma de decisiones y anticipar y evitar, minimizar y compensar los efectos negativos sobre el medio ambiente. Al proceso de evaluación ambiental de un proyecto se le pueden aplicar diferentes técnicas metodológicas, algunas generales, otras de carácter más específico. En Costa Rica la metodología más común es la elaborada por la Secretaría Técnica Ambiental (SETENA, 2016A). Con el fin de valorar el impacto ambiental de los proyectos de construcción en una universidad, se aplicó el formulario ambiental del SETENA, identificándose la magnitud de los factores, componentes y subcomponentes ambientales significativos de cada uno de ellos (SETENA, 2016B). La investigación permitió obtener y analizar los valores de significancia del impacto ambiental de los proyectos en función de: la cantidad de aspectos ambientales, la aplicación de reglamentos específicos, la ubicación geográfica del proyecto y el uso guías ambientales. Se identificaron los proyectos con mayor o menor cantidad de subcomponentes ambientales significativos, metros cuadrados de construcción, y valores de impacto ambiental preeliminar, ponderado y final. Se analizó la relación existente entre la cantidad de aspectos ambientales significativos de cada proyecto y su influencia en el valor final de significancia ambiental.

Keywords

Environmental impact assessment; environmental aspects and impacts; buildings; university.

Abstract

Environmental impact assessment refers to the evaluation of the effects likely to arise from a major project (or other action) significantly affecting the natural and man-made environment. It is an analytical process that systematically examines the possible environmental consequences of the implementation of projects, programmes and policies, taking into account inter-related socioeconomic, cultural and human-health impacts, both beneficial and adverse. Numerous methodologies (tools) have been utilized to meet the various activities required in the conduction of an environmental impact study. The objectives of the various activities differ, as do the usable methods for the accomplishing the activities. There is no standardized methodology of environmental impact assessment. However, a framework of principles to guide strategies, methods and techniques has been more or less recognized by the scientific community and included in legislation and directives in various countries. In Costa Rica the most common environmental impact assessment correspond to the one developed by the SETENA (National Environmental Office). With the main objective to assess the environmental impact of the construction projects at the university, the SETENA methodology was applied. The magnitude of the environmental factors, aspects and components for each project was determined. This research also allowed to obtain and analyze the magnitude of the environmental impact for each project based on: number of environmental aspects, specific environmental policies, geographic

location and the application of environmental guides. Projects were identified according to their environmentally significant components, construction sizes and magnitude of the environmental impact. The relationship between the quantity of significant environmental aspects for each project and its final meaning of environmental impact, was analyzed.

Introducción

El proceso de evaluación de impacto ambiental (EIA) es una valoración de los potenciales impactos generados sobre el medio ambiente producto de determinada actividad, obra o proyecto. Es un procedimiento necesario para la valoración de los impactos ambientales de las distintas alternativas de un proyecto determinado, con el fin de definir la mejor opción para su viabilidad del proyecto a desarrollar (Garmendia *et al.*, 2005). De una forma más amplia, la EIA se define como la identificación y valoración de los impactos potenciales de planes, proyectos, programas o acciones normativas respecto a los componentes físicos, químicos y biológicos, culturales, económicos y sociales, con el fin de que mediante la planificación y la correcta toma de decisiones se desarrollen aquellas actuaciones más compatibles con el medio ambiente (Canter, 1998). Entre otros objetivos de la EIA están; a) asegurar que las consideraciones ambientales sean explícitamente expresadas e incluidas en el proceso de toma de decisión, b) anticipar y evitar, minimizar y compensar los efectos negativos significativos biofísicos, sociales y otros relevantes de la propuesta de desarrollo, c) proteger la productividad y capacidad de los sistemas naturales y sus procesos ecológicos, y d) promover el desarrollo sostenible optimizando el uso de los recursos y la gestión de oportunidades (Johnson & Bell, 1975).

Diferentes técnicas metodológicas son aplicables al proceso de evaluación ambiental de un proyecto, siendo algunos métodos generales, otros de carácter más específico, no obstante sin importar el método, se pueden extraer técnicas, que con variaciones son muy útiles para el proceso de evaluación ambiental. Aunque algunos métodos o técnicas se diseñaron para proyectos concretos y su adaptación al proyecto de interés es difícil, pueden llegar a ser de gran utilidad (Garmendia *et al.*, 2005).

Garmendia *et al.* (2005) resalta los siguientes métodos: a) de identificación de alternativas, b) para ponderar factores, c) para identificar impactos y, d) de evaluación de impactos, como los métodos de mayor interés para la EIA de proyectos nuevos. El método de evaluación de alternativas se ha usado principalmente para localizar el sitio más adecuado para construir un proyecto puntual o lineal como el trazado de una carretera, incluye principalmente el uso de sistemas cartográficos (por ejemplo el Método de Superposición de Transparencias, el Método Mc Harg) y el de sistemas de información geográfica (SIG). Los métodos para ponderar factores, son muy útiles, una vez se haya confeccionado el inventario ambiental, para posteriormente valorar los factores ambientales de manera cuantitativa. Un ejemplo de esto es el método de Delphi, que se utiliza para calibrar las variables que se deben usar para definir cierto indicador ambiental (Garmendia *et al.*, 2005).

Los “métodos para identificar impactos” son muy variados y se usan cuando no se conocen los impactos que pueda producir un proyecto. Entre ellos están las listas de revisión, los cuestionarios del Banco Mundial, diagramas de redes, el Método Sorensen y la matriz de interacción entre factores (Garmendia *et al.*, 2005). El cuarto método recomendado por Garmendia *et al.* (2005) es el de evaluación de impactos, que se usa para asignar un valor a cada impacto y al impacto total de cada opción del proyecto, permitiendo la comparación de alternativas. Entre este tipo de métodos están: Matriz de Leopold, Método Batelle-Columbus, Método Galleta y Análisis Energético Mc Allister. La Matriz de Leopold es uno de los más antiguos y utilizados actualmente. Se basa en una matriz que relaciona acciones del proyecto con los factores ambientales del mismo, identificando la magnitud y la importancia de los potenciales efectos sobre un determinado factor ambiental y el generado para cierta acción del proyecto.

Canter (1998) clasifica las metodologías de evaluación de impacto ambiental en matrices de interacción (causa-efecto) y listas de control. Las matrices interactivas (causa efecto) fueron de las primeras metodologías de EIA que surgieron, un ejemplo es el método de matriz interactiva desarrollada por Leopold *et al.* (1971), denominada la Matriz de Leopold. Otro tipo de matriz interactiva, son las matrices por etapas, utilizada principalmente para analizar los impactos secundarios y terciarios que se originan de las acciones de un proyecto, permitiendo mostrar las consecuencias que sobre otros factores ambientales tienen los cambios primarios que se produzcan sobre los factores ambientales. Jonson y Bell (1975) desarrollaron una matriz de interacciones que era a la vez simple y por etapas, para la identificación de los impactos de la construcción y explotación de proyectos de embalses. Por su parte la metodología denominada “métodos de listas de control” incluye desde listas de factores ambientales hasta sistemas muy elaborados que contemplan la ponderación de importancia para cada factor ambiental y la aplicación de técnicas de escalas para los impactos de cada alternativa de cada factor (Canter, 1998).

Conesa (2013) indica que la mayoría de metodologías hace referencia a impactos ambientales determinados, siendo muy difícil generalizar alguna. Actualmente, la clasificación de los métodos más usuales actualmente para la EIA responde al esquema inicial de Estevan Bolea (1984), ampliado posteriormente por Canter y Sadler (1997). Estos métodos están sistematizados en las siguientes categorías: (Conesa, 2013): a) Matrices causa-efecto (por ej., Leopold, Clark, CNYRPAB, Moore, Bereano, Guías metodológicas del M.O.P.U), Banco Mundial, entre otras), b) Lista de chequeos (por ej., Listas simples, descriptivas, de escala simple y de escala ponderada), c) Sistemas de interacciones o redes (por ej., Sonrensen, redes ampliadas), d) Sistemas cartográficos (por ej., Superposición de transparentes, Mc Harg, Tricart, Falque), e) Análisis de sistemas, f) Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación (por ej., Holmes, Universidad de Gergia, Hill-Schechter, Fisher-Davies, Índice Global), g) Métodos cuantitativos (por ej., Batelle-Columbus) y, h) Métodos ad hoc. (por ej. María Teresa Estevan Bolea, Domingo Gómez Orea, Vicente Conesa Fernández –Vitora).

Respecto al uso de matrices causa-efecto, Conesa (2013) señala que son métodos cualitativos preliminares de gran valor para evaluar diferentes alternativas de un mismo proyecto, siendo la más relevante la “Matriz de Leopold” que agrupa los factores ambientales potencialmente afectados en los siguientes tipos: a) Características fisicoquímicas (Tierra, agua, atmósfera y procesos), b) Condiciones biológicas (Flora y Fauna), c) Factores culturales (Usos del territorio, recreativos, estéticos y de interés humano, nivel cultural, servicios e infraestructura) y, d) Relaciones ecológicas (Salinización, eutrofización, vectores de enfermedades, cadenas alimentarias).

La Matriz de Leopold evalúa la importancia y magnitud del impacto ambiental sobre el factor ambiental producto de una serie de acciones que se agrupan en (Conesa (2013): a) Modificación del régimen (por ej., Controles biológicos, alteración de la cubierta terrestre, ruido, vibraciones, alteración de la hidrología, modificación del hábitat, entre otros), b) Transformación del territorio y construcción (por ej., Urbanización, carreteras y caminos, edificaciones, entre otros) y, d) Extracción de recursos (por ej., Perforaciones, estructuras subterráneas, dragados, entre otros).

Barrett y Therivel (1991) indican que sin importar el método que se utilice para la evaluación del impacto ambiental de proyectos, un sistema ideal de evaluación debe: a) aplicarse a todos los proyectos con impactos ambientales previsible y significativos, b) comparar alternativas de los proyectos propuestos, de sus técnicas y medidas de corrección, c) generar un estudio en el que la importancia y características de los impactos probables sean claras tanto para expertos como lejos en el tema, d) incluir la participación pública y procedimientos administrativos vinculantes de revisión, e) programar satisfactoriamente la toma de decisiones, f) ser obligatorio y finalmente, g) incluir procedimientos de seguimiento y control.

Metodología

Con el fin de realizar una evaluación ambiental preliminar de 17 de proyectos de construcción en la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) se utilizó una metodología de valoración de impacto ambiental de SETENA, institución estatal encargada de la valoración ambiental de proyectos nuevos y de otorgar la viabilidad ambiental, requisito previo para iniciar con la construcción de las obras.

Formulario para la evaluación ambiental

La metodología de impacto ambiental consiste de un formulario (método de evaluación ambiental) compuesto de las siguientes secciones: Sección 1: Información general del desarrollador del proyecto y de las características principales de la obra, Sección 2: Evaluación del factor ambiental “consumo-afectación”, Sección 3: Impacto del proyecto en los medios agua, suelo, aire y el factor humano, Sección 4: Valoración ambiental de otros riesgos, Sección 5: Criterios de ponderación, Sección 6: Matriz de efectos acumulativos y sinérgicos, Sección 7: Obtención del valor de impacto ambiental del proyecto y, Sección 8: Ficha de descripción del proyecto. El cuadro 1 contiene un resumen de los factores, componentes y subcomponentes ambientales que son evaluados en las secciones 2, 3 y 4, que permiten obtener el valor de impacto ambiental (sección 6), una vez revisados los criterios de ponderación (Sección 5).

Inclusión de la información.

El formulario ambiental se completó de forma digital, lo cual permite que las valoraciones y ecuaciones se ejecuten de forma automática. Antes de la inclusión de los valores, se consultaron los respectivos datos con los responsables del diseño arquitectónico, mecánico y eléctrico de cada proyecto, además de analizarse los respectivos estudios: de capacidad de los suelos, biológicos, arqueológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, geológicos, de registro fotográficos, de hojas cartográficas y sobre la descripción general de cada construcción

Valoración de los subcomponentes ambientales – Subcomponente ambiental significativo (SAS).

Para cada subcomponente ambiental (cuadro 1) se obtuvo un valor de “X” en virtud de los casos definidos (opciones de respuesta) en el formulario y del marco jurídico preestablecido en él. Cada valor asignado a “X” se escogió considerando el mayor consumo o efecto a generar por cada proyecto, independientemente de que se presente en la etapa de construcción o de operación (uso de los edificios) del mismo. El valor “X” representa el “valor de significancia de impacto ambiental preliminar” para cada subcomponente ambiental evaluado, cuando este dato de la casilla “X” es de 6 puntos o más, se considera que el impacto ambiental es significativo (SAS).

Valoración de los componentes ambientales (CA).

Se procedió a sumar (automáticamente en el formulario) el valor “X” obtenido para cada subcomponente ambiental, obteniéndose así una “valoración por efecto”, lo cual corresponde al valor de significancia ambiental de cada componente ambiental (compuesto por uno o más subcomponentes ambientales, ver cuadro 1).

Cuadro 1. Factores, componentes y subcomponentes ambientales evaluados para cada proyecto.

Factor ambiental (FA)	Componente ambiental (CA)	Subcomponentes ambientales (SAS)
Consumo-Afectación	Agua	Acueducto público existente, agua superficial, agua subterránea
	Suelo	Modificación del uso
	Energía	Autoabastecimiento biocombustible, Autoabastecimiento combustible fósil abastecimiento externo
	Biotopos	Fauna, flora
Impacto en aire y agua	Aire	Emisiones de fuentes fijas, emisiones de fuentes móviles, emisiones de radiaciones ionizantes, generación de gases, ruido y vibraciones
	Agua	Agua de escorrentía superficial, aguas residuales ordinarias, aguas residuales de tipo especial
Impacto en el suelo	Suelo	Residuos sólidos ordinarios, residuos sólidos especiales, escombros, residuos peligrosos químicos, residuos radiactivos, residuos biológicos, movimiento de tierra, afectación de pendiente, densidad de la población, densidad de construcción
Impacto humano	Social	Generación de empleo, movilización/reubicación/traslado de personas
	Cultural	Paisaje, patrimonio
	Vialidad	Tráfico
Otros riesgos	Otros riesgos	Manejo de combustible fósil, manejo de agroquímicos, manejo de sustancias peligrosas, manejo de material radiactivo, manejo de biorriesgos
Total= 5 FA	Total= 11 CA	TOTAL= 37 SAS

Valoración de la significancia de impacto ambiental preliminar (SIA-P) del proyecto.

La sumatoria de la “valoración por efecto” de cada componente ambiental permitió obtener de forma automática el valor de significancia de impacto ambiental preliminar (SIA-P) de cada proyecto.

Ponderación del valor de significancia de impacto ambiental preliminar (SIA-P) del proyecto.

El valor de significancia de impacto ambiental preliminar del proyecto se ajustó en función de la existencia o no de regulaciones específicas aplicables a la operación del proyecto y de la adherencia, voluntaria o no, por parte del desarrollador del proyecto a una guía o norma ambiental de construcción. Una vez ponderado el SIA-P se obtuvo el valor de significancia de impacto ambiental ponderado del proyecto (SIA-Pond)

Valoración de la significancia de impacto ambiental final (SIA-F) del proyecto.

El valor SIA-Pond se ajustó en función de la ubicación geográfica del proyecto considerando lo siguiente: si se localiza en una zona con plan regulador ambiental autorizado por el ente ambiental estatal o en proceso de autorización, y si se localiza en un área ambientalmente frágil según lo establece el Estado costarricense. Una vez ajustado el SIA-Pond se obtuvo el valor de significancia de impacto ambiental final del proyecto (SIA-F).

Proyectos

Los 17 proyectos considerados son: Proyecto 1: Edificio de residencias estudiantiles-área total de 900 m², Proyecto 2: Edificio de residencias estudiantiles-área total de 2275 m², Proyecto 3: Canchas deportivas y recreativas-área total de 500 m², Proyecto 4: Canchas deportivas y recreativas- área total de 950 m², Proyecto 5: Edificio de residencias estudiantiles-área total de 1250 m², Proyecto 6: Canchas deportivas y recreativas-área total de 950 m², Proyecto 7: Edificio de residencias estudiantiles-área total de 2700 m², Proyecto 8: Edificio de oficina y aulas-área total de 500 m², Proyecto 9: Edificio de oficinas, aulas y salones-área total de 2000 m², Proyecto 10: Edificio de oficinas, aulas, salones y laboratorios de acondicionamiento físico-área total de 1810 m², Proyecto 11: Edificio de oficina, aulas, salones, bodegas, laboratorios de química y biología-área total de 5700 m², Proyecto 12: Edificio de oficinas, aulas y laboratorios de física medica-área total de 900 m² Proyecto 13: Remodelación de un edificio de 800 m² Proyecto 14: Edificio de varias obras deportivas (natación, voleibol, futbol-área total de 4000 m² Proyecto 15: Edificio de oficinas, aulas, laboratorios de enseñanza- área total de 380 m² Proyecto 16: Edificio de oficina, aulas, salones, miniauditorio-área total de 3485 m² y Proyecto 17: Edificio de oficinas, aulas y laboratorio de arte escénico-área total de 2750 m²

Resultados y discusión

Ubicación de proyectos

La figura 1 muestra la ubicación geográfica de los 17 proyectos. Estos implican construcciones en las provincias de Guanacaste (proyectos 4 y 5 en el cantón de Liberia y proyectos 6 y 7 en el cantón de Nicoya), San José (cantón de Pérez Zeledón) (proyecto 2), Puntarenas (cantón de Corredores) (proyecto 3), y Heredia con 11 once proyectos (de los cuales el identificado con el número 1 se ubica en el cantón de Sarapiquí, los numerados del 8, 9 y 10 se localizan en el distrito de Ulloa y los proyectos del 11 al 17 en el distrito y cantón central de Heredia).

Subcomponentes ambientales significativos (SAS).

La figura 2 muestra en su parte superior la cantidad de SAS para cada proyecto, esto es, aquellos valores iguales o mayores a 6 puntos. La parte inferior de la figura detalla el valor porcentual obtenido por proyecto, considerando que la cantidad de subcomponentes ambientales evaluados es de 31. Los proyectos presentan una cantidad de SAS que oscila un rango de 8-17, siendo la cantidad de 12 SAS la que más se repite, que corresponde a los proyectos 1, 2, 5 y 13, lo cual indica que para cada uno de ellos únicamente el 32% de todos los subcomponentes ambientales evaluados son significativos (SAS). Los proyectos con menor porcentaje (22%) de SAS son los proyectos identificados como 3, 4 y 16 que corresponden a una construcción de canchas deportivas con graderías y techo (para un área total de 500 m²), una construcción de obras deportivas con un área de 950 m² en el cantón de Liberia y la construcción de un edificio de oficina, aulas, salones, miniauditorio, para una área total de 3485 m², respectivamente.

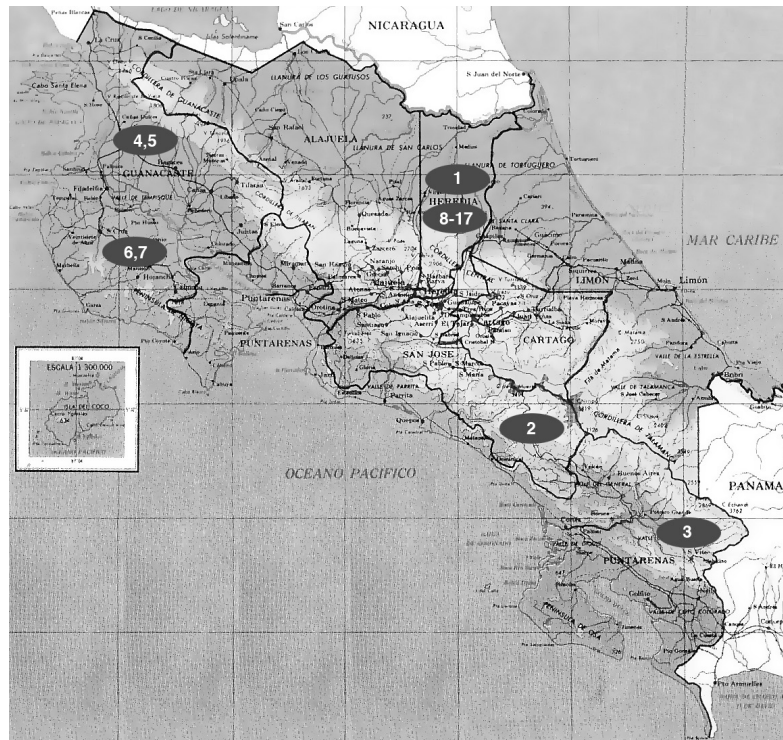


Figura 1. Ubicación geográfica de proyectos.

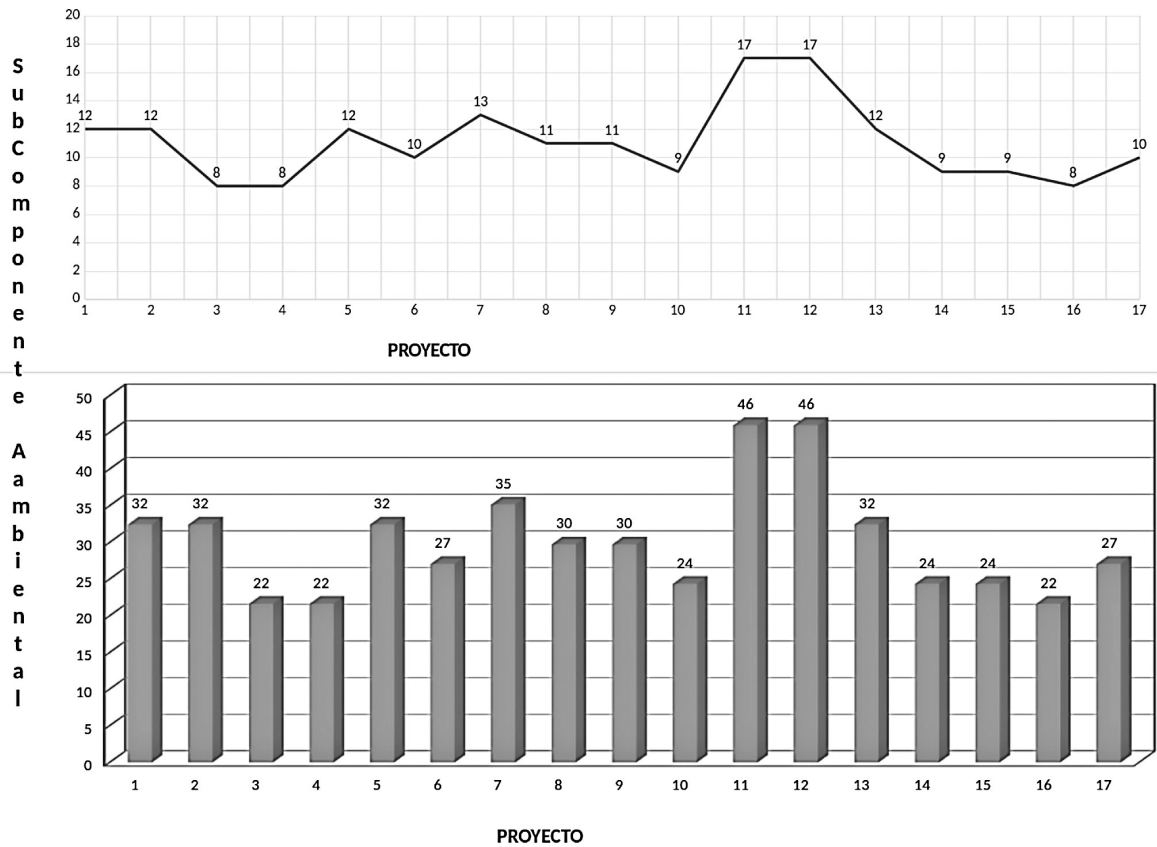


Figura 2. Cantidad y porcentaje de subcomponentes ambientales de cada proyecto.

Los proyectos identificados como 11 y 12 son los que mayor cantidad de SAS presentan, ya que 17 de los 31 aspectos ambientales (SAS) evaluados obtuvieron valores iguales o mayores a 6. Estos son los únicos proyectos que en condiciones de operación utilizan como insumos productos químicos, y además generan corrientes de residuos de carácter peligroso, tanto en forma de emisiones gaseosas como en forma de vertidos de aguas residuales especiales. No obstante estos proyectos difieren notablemente en los m² de construcción, 900 m² (ver figura 4).

Valores de significancia del impacto ambiental

La figura 3 detalla los resultados obtenidos de los valores de significancia ambiental para cada proyecto. La parte superior derecha contiene el resultado del valor de significancia ambiental preliminar (SIA-P), valor que es el producto de la sumatoria de cada uno de los componentes ambientales (ver cuadro 1). Un total de 15 de los 17 proyectos evaluados, presentan valores de SIA-P superiores a 100 puntos pero menores a 150 puntos. Solamente dos proyectos contienen un valor arriba de los 150 puntos, que son el 11 y 12, siendo además los que presentan mayor cantidad de subcomponentes ambientales significativos.

La parte superior izquierda de la figura 3 incluye el valor de la SIA-P una vez que ha sido ajustado según los criterios de ponderación incluidos en el método de evaluación ambiental. En caso de que un proyecto sea regulado por un marco normativo específico, el valor de significancia de ambiental ponderado (SIA-Ponderado) siempre va a hacer mayor que SIA-P. De los 17 proyectos evaluados ninguno es regulado durante su operación por un reglamento específico, lo que implica que no requiere de un control y seguimiento particular producto de sus impactos ambientales generados. No obstante la disminución del valor SIA-P obedece a la adherencia por parte del desarrollador del proyecto a una norma ambiental durante la etapa de construcción.

En parte inferior derecha de la figura 3, se hace una comparación entre el valor de SIA-P y el valor de significancia de impacto ambiental final (SIA-F), una vez ajustado el valor SIA-Pon del proyecto según su ubicación geográfica, basándose en: a) si el proyecto se ubica en un área ambientalmente frágil (AAF), que por definición es un espacio geográfico que en función de sus condiciones de geopotencialidad, capacidad de uso del suelo, de ecosistemas que lo conforman y su particularidad sociocultural; presenta una capacidad de carga restringida y con algunas limitantes técnicas que deberán ser consideradas para su uso en actividades humanas; y b-) si se contempla desarrollar el proyecto en una localización geográfica donde existan un plan regulador de ordenamiento del uso del suelo (PR), es decir un instrumento de planificación local que defina en un conjunto de planos, mapas, reglamentos, gráficos o suplementos, la política de desarrollo y los planes para distribución de la población, usos de la tierra, vías de circulación, servicios públicos, facilidades comunales y construcción, conservación y rehabilitación de áreas urbanas.

La ponderación del valor SIA-P de un proyecto puede hacer que su valor aumente o disminuya, por ejemplo su valor de impacto ambiental puede aumentar en caso de que el proyecto se localice en un AAF y disminuir en valor en caso de que la zona del proyecto cuente con un PR. En el caso de las 17 obras evaluadas ninguna se localizan en una AAF, no obstante ningún proyecto a desarrollar se ubica en zonas territoriales con planificación local de uso del suelo (PR) aprobada por el Estado costarricense.

Estas condiciones de ponderación hacen que la mayoría de los proyectos (figura 3) aumente su valor de SIA-F. Los proyectos del 4 a 7 se ubican en zonas geográficas con PR en proceso de revisión estatal, haciendo que su valor SIA-P disminuya respecto a su valor de SIA-final (ver parte inferior derecha de la figura 3). No obstante según se observa en la figura 3, no existe mayor diferencia entre el valor de SIA-P y el valor de SIA-F. En la mayoría de los proyectos ambos valores se mantienen en un rango de entre 100 y 150 puntos.

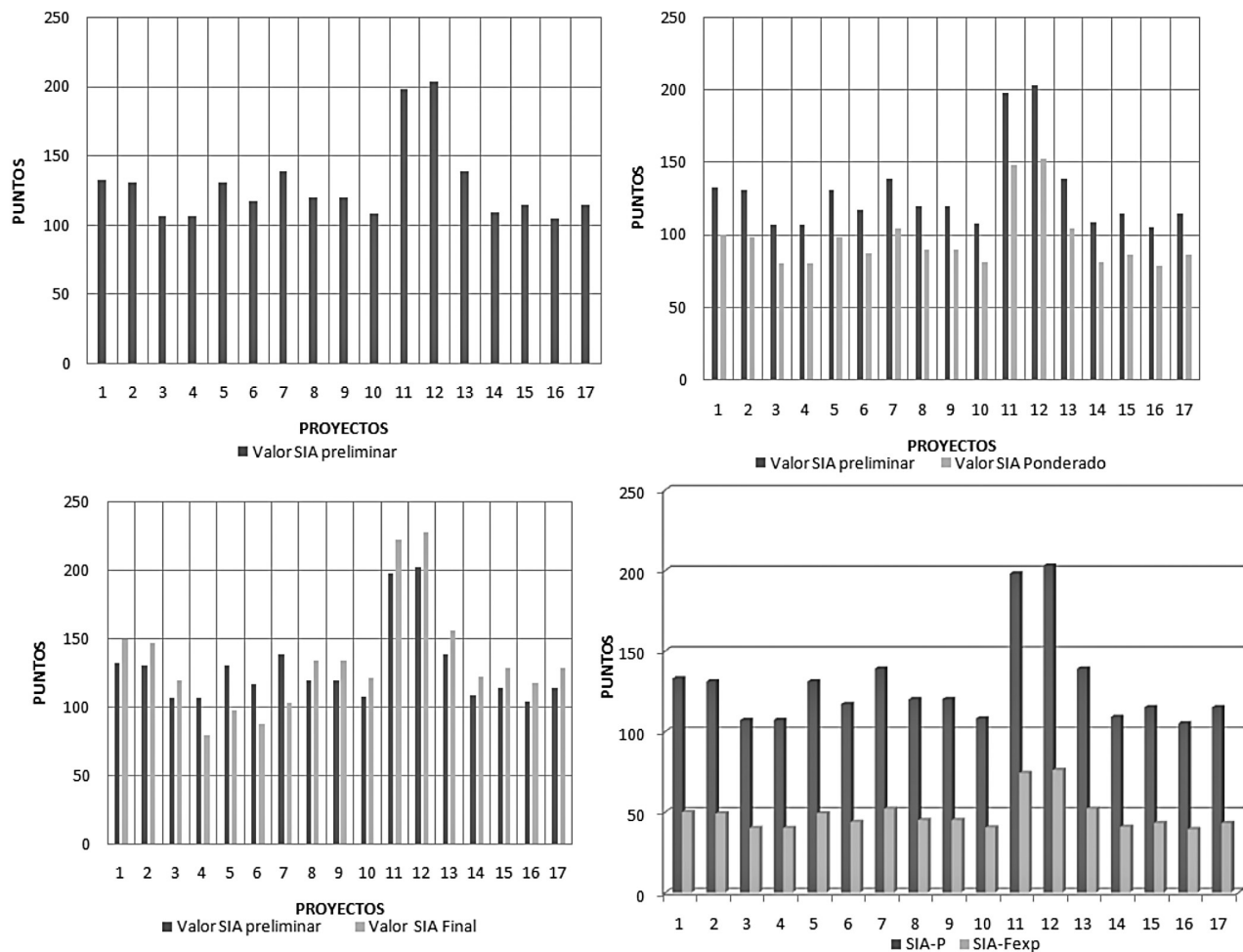


Figura 3. Valores de significancia ambiental preliminar, ponderado y final de cada proyecto.

La parte inferior derecha de la figura 3 propone un escenario experimental en el que todos los proyectos se construirían en zonas con plan regulador. Tal y como se observa el valor de significancia del impacto ambiental experimental (SIA-Fexp) disminuye notablemente para todos los proyectos respecto a su valor de SIA-P. Con este supuesto escenario experimental 15 de los 17 proyectos tendrían valores menores a 50 puntos, solamente los proyectos 11 y 12 superarían los 50 puntos SIA-F. Sin embargo, según los datos de SIA-Fexp ningún proyecto estaría por encima de los 80 puntos. Los proyectos 11 y 12 son los de mayor significancia ambiental preliminar y pasarían a un valor de significancia de impacto ambiental final de 198 a 74 puntos y de 203 a 76 puntos respectivamente, en caso de que se desarrollaran en cantones con plan regulador de uso del suelo, debidamente aprobado por SETENA

Relación del tamaño de las construcciones con su valor de significancia ambiental y su valor porcentual de subcomponentes ambientales significativos

La figura 4 muestra (en el "trazado B") que la mayoría de los proyectos de construcción oscilan en un rango de entre 500 a 2000 m², y que según el "trazado A", más del 50% de ellos contiene un porcentaje de SAS entre 20% y 30%. La parte derecha de la figura 4 indica que una mayor cantidad (65%) de proyectos contienen valores de SAF en un rango de 110 y 170 puntos (los ubicados entre la "Línea A" y "Línea B") independientemente, de los m² de construcción. Por lo

tanto y según se detalla en la figura 4, no existe una relación directamente proporcional respecto a los m² de construcción con su porcentaje de SAS y con su valor SAF. Tal y como se observa en el “trazado B”, 11 de los 17 proyectos a construir presentan un área de construcción con un rango de 500 a 2000 m², no obstante el porcentaje de SAS de cada uno de ellos no aumenta en función de la mayor área de construcción; por ejemplo proyectos con los mismos o muy similares metros de construcción presentan valores diferentes de porcentajes de SAS. Según el gráfico 4, los proyectos con o cercanos a los 1000 m² (4, 6, 1 y 12) presentan un valor porcentual de SAS de; 22, 27, 32 y 17, respectivamente. Otro ejemplo de la no correlación exponencial entre los m² y el porcentaje de SAS, así como de los m² y el valor SAF, es el de los proyectos 11 y 12, ya que ambos presentan el mismo valor porcentual de SAS (46%), aunque los metros cuadrados de construcción son 5700 y 900, respectivamente.

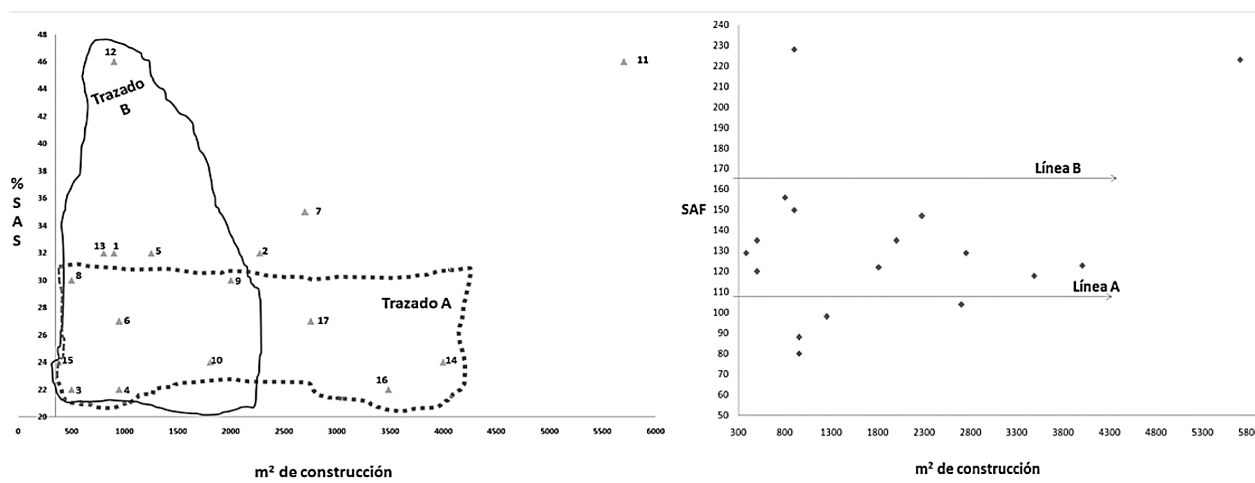


Figura 4. Relación de los m² de construcción respecto al porcentaje de los subcomponentes ambientales significativos (SAS) y valor de significancia ambiental final (SAF).

Relación del porcentaje de subcomponentes ambientales significativos de cada proyecto con su valor de significancia de impacto ambiental final (SAF)

La figura 5 muestra que 13 de los 17 proyectos evaluados tienen un valor de SAF mayor a 110 puntos; los señalados en la “esfera B” son los que presentan el mayor porcentaje de SAS y también el mayor valor de SAF. No obstante, este patrón no se mantiene en el resto de los proyectos, por ejemplo, el número 7 tiene mayor porcentaje de subcomponentes ambientales que los incluidos en la “esfera A”, pero su valor SAF es menor. Por lo tanto, no existe una relación directamente proporcional entre el número de SAS y el valor de SAF de cada proyecto. Tal como y se detalla al lado derecho de la figura 5, existen proyectos con igual cantidad de aspectos ambientales significativos, no obstante, según lo discutido ampliamente, sus valores de significancia ambiental preliminar o final difieren o no mantienen un patrón común. Se incluye en la figura 5 el detalle del valor obtenido para cada SAF de cada proyecto, omitiéndose los valores para los otros subcomponentes menores a 6.

Según se observa, los valores significativos obtenidos para todos los proyectos oscilan en un rango de 6 a 16 puntos, esto implica que el valor de significancia de impacto ambiental de un proyecto depende fundamentalmente del valor individual de cada aspecto significativo. Por ende, aunque un proyecto tenga un alto porcentaje de SAF, eso no implica que su valor de SIA sea mayor respecto a otro proyecto con menor porcentaje de SAF. Es necesario analizar cada

caso en particular, con el fin de determinar y evaluar el valor de cada subcomponente ambiental significativo y no significativo, cuya sumatoria genera el valor de significancia del impacto ambiental preliminar de cada proyecto.



Figura 5. Relación entre el porcentaje de subcomponentes ambientales significativos (SAS) y el valor de significancia ambiental final (SAF).

Conclusiones

La metodología de impacto ambiental utilizada para la evaluación de los 17 proyectos se basa principalmente en los métodos citados por Garmendia et al. (2005) y Canter (1998), particularmente la matriz desarrollada por Leopold et al. (1971) o Matriz de Leopold. La metodología que se usó se fundamenta en una matriz que relaciona las acciones del proyecto, tanto en su etapa constructiva como operativa, con una serie factores ambientales y sus correspondientes aspectos y subcomponentes ambientales, identificando además la magnitud y la importancia de los potenciales efectos sobre un determinado factor ambiental. El valor final de significancia del impacto ambiental de cada proyecto se obtiene como resultado de la magnitud de cada factor ambiental.

De los 31 subcomponentes ambientales que conforman el método de evaluación ambiental, un total de 23 (sin considerar un proyecto específico) fueron considerados significativos (valor "X" igual o mayor a 6 puntos).

La menor cantidad de SAS para un determinado proyecto fue de 8, mientras que el mayor número de SAS fue de 17. Para 15 de los 17 proyectos evaluados, el porcentaje de subcomponentes ambientales significativos está en el rango de 22% a 35%. Solo dos proyectos presentaron valores superiores a 35%. Los proyectos 3, 4 y 16 son los que contienen menor cantidad (8) de SAF, mientras que el 11 y el 12 presentan la mayor cantidad de subcomponentes ambientales, un total de 17 cada uno.

Todos los proyectos evaluados superan los 100 puntos en cuanto a su valor de significancia de impacto ambiental preliminar; 15 de los 17 no superan los 150 puntos. El 100% de los proyectos disminuye su valor de SIA-P una vez que este valor es ponderado en función de la adherencia y cumplimiento de una guía ambiental durante su construcción, no obstante, esta variación (valor SIA-Pond) es solo del 25% respecto al valor inicial SIA-P, no siendo suficientemente significativa para disminuir el impacto ambiental global de cada proyecto.

Los proyectos del 4 al 7 son los únicos localizados en áreas geográficas que cuentan con un plan regulador territorial en proceso de análisis ante el ente ambiental estatal, por lo tanto, su valor de significancia de impacto ambiental final disminuye respecto a su valor de significancia ambiental preliminar. Para el resto de los proyectos, el valor de SIA-P es menor que su valor de SIA-F.

En el supuesto caso de que los proyectos se desarrollen en sitios con PR, su valor de SIAF disminuiría en 65% respecto a su valor SIA-P, permitiendo concluir que uno de los factores de mayor importancia para disminuir el impacto ambiental de los proyectos es su desarrollo en sitios que cuenten con una planificación de uso de suelo aprobada.

No existe una relación directamente proporcional entre los m² de construcción de los proyectos y su cantidad de subcomponentes ambientales significativos. Proyectos con similares m² presentan variación en cuanto a su porcentaje de SAS; de igual forma, aquellos que presentan diferencias marcadas en cuanto a su tamaño contienen similar o la misma cantidad de subcomponentes ambientales significativos. Un patrón similar se concluye al comparar la relación entre la cantidad de SAS y el valor de SIA-F de cada proyecto, no existiendo tampoco una relación directamente proporcional entre estos factores. Existen proyectos que contienen el mismo porcentaje de SAS, no obstante, su valor de SIA-F presenta una variación importante; de igual forma, proyectos con valores distantes de porcentaje de SAS comparten similitud en cuanto a su valor de SIA-F.

Se recomienda analizar el impacto ambiental de los proyectos, específicamente su valor de significancia ambiental final en función del valor individual ("X") de todos los subcomponentes ambientales tanto significativos como no significativos, y determinar el aporte sustancial de aspectos como consumo de agua, consumo de energía, movimiento de tierra, manejo de residuos y emisiones, afectación a flora, fauna y paisaje, ruido y vibraciones, entre otros, con el fin de identificar la relación que existe entre el aspecto ambiental y su afectación para el desarrollo del proyecto. Esto permitirá al desarrollador no solamente identificar proyectos con mayor impacto ambiental, sino que además permitirá la definición de medidas ambientales de; prevención, minimización, corrección, mitigación y/o compensación para aquellos subcomponentes ambientales que tienen un mayor impacto negativo, y cuyo valor de afectación está directamente vinculado al valor de significancia ambiental final de cada proyecto.

Bibliografía

- Arribas de Paz, R. & Rodríguez G., C.A. (2004). *Estudios de evaluación de impacto ambiental: Situación actual*. España: Universidad de Huelva.
- Barrett, B.F.T. & Therivel, R. (1991). *Environmental policy and impact assessment in Japan*. London: Routledge.
- Battelle Columbus Laboratory. (1972). *Environmental Evaluation System for Water Resource Planning*. US: Springfield.
- Block, M. (2000). *Identificación de aspectos e impactos medioambientales*. España: AENOR.
- Burcazo, M. (2014). *Evaluación del impacto ambiental: Ley 21-2013, de 9 de diciembre, de evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Dykinson.
- Canter, L.W. (1986). *Environmental Impact of Water Resources Projects*. US: Lewis Publishers Inc.
- Canter, L.W. (1998). Arribas de Paz, R. & Rodríguez G., C.A. (2004). *Estudios de evaluación de impacto ambiental: Situación actual*. España: Universidad de Huelva.
- Barrett, B.F.T. & Therivel, R. (1991). *Environmental policy and impact assessment in Japan*. London: Routledge.
- Battelle Columbus Laboratory. (1972). *Environmental Evaluation System for Water Resource Planning*. US: Springfield.
- Block, M. (2000). *Identificación de aspectos e impactos medioambientales*. España: AENOR.
- Burcazo, M. (2014). *Evaluación del impacto ambiental: Ley 21-2013, de 9 de diciembre, de evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Dykinson.

- Canter, L.W. (1986). *Environmental Impact of Water Resources Projects*. US: Lewis Publishers Inc.
- Canter, L.W. (1998). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto ambiental*. España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.L.
- Canter, L. & Sadler, B. (1997). *A toolkit for effective EIA practice. Review of methods and perspectives on their application: A supplementary report of the International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment*. International Association for Impact Assessment (IAIA). Obtenido de <http://www.iaia.org/publicdocuments/EIA/SRPEASEIS01.pdf>
- Carreto, A. (2002). *Aspectos medioambientales: Identificación y evaluación*. España: AENOR.
- Casermeiro Martínez, M.A. (2007). *Evaluación de impacto ambiental en España: Nuevas perspectivas*. Madrid: Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Conesa Fernández-Victoria, V. (2013). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Ebel, A. & Davitašvili, T. (2007). *Air, water and soil quality modelling for risk and impact assessment*. Dordrecht: Springer.
- Estevan Bolea, M.T. (1984.) *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- García, M. (2012). *Evaluación de impacto ambiental*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C. & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Johnson, F.L. & Bell, D.T. (1975). *Guidelines for the identification of potential environmental impacts in the construction and operation of a reservoir*. US: Department of Forestry, University of Illinois.
- Riera, P. (2000). *Evaluación de impacto ambiental*. Barcelona: Rubes.
- SETENA (Secretaría Técnica Nacional Ambiental). (2016). *Formulario D-1 de evaluación ambiental*. Obtenido de <http://www.setena.go.cr/formularios.html>
- SETENA (Secretaría Técnica Nacional Ambiental). (2016). *Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53029&nValor3=93264&strTipM=TC OJO: como tienen el mismo año de publicación, debe ponerse a y b aquí y en el texto para diferenciarlos.
- Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto ambiental*. España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.L.
- Canter, L. & Sadler, B. (1997). *A toolkit for effective EIA practice. Review of methods and perspectives on their application: A supplementary report of the International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment*. International Association for Impact Assessment (IAIA). Obtenido de <http://www.iaia.org/publicdocuments/EIA/SRPEASEIS01.pdf>
- Carreto, A. (2002). *Aspectos medioambientales: Identificación y evaluación*. España: AENOR.
- Casermeiro Martínez, M.A. (2007). *Evaluación de impacto ambiental en España: Nuevas perspectivas*. Madrid: Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Conesa Fernández-Victoria, V. (2013). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Ebel, A. & Davitašvili, T. (2007). *Air, water and soil quality modelling for risk and impact assessment*. Dordrecht: Springer.
- Estevan Bolea, M.T. (1984.) *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- García, M. (2012). *Evaluación de impacto ambiental*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C. & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Johnson, F.L. & Bell, D.T. (1975). *Guidelines for the identification of potential environmental impacts in the construction and operation of a reservoir*. US: Department of Forestry, University of Illinois.
- Riera, P. (2000). *Evaluación de impacto ambiental*. Barcelona: Rubes.
- SETENA (Secretaría Técnica Nacional Ambiental). (2016A). *Formulario D-1 de evaluación ambiental*. Obtenido de <http://www.setena.go.cr/formularios.html>
- SETENA (Secretaría Técnica Nacional Ambiental). (2016B). *Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53029&nValor3=93264&strTipM=TC

Hacia el desarrollo de un prototipo de sistema de voto electrónico para Costa Rica

Towards the development of a electronic voting system prototype for the Costa Rican context

Jeff Schmidt-Peralta¹, Jaime Gutiérrez-Alfaro²

Fecha de recepción: 29 de setiembre de 2015

Fecha de aprobación: 8 de enero de 2016

Schmidth-Peralta, J.; Gutiérrez-Alfaro, J. Hacia el desarrollo de un prototipo de sistema de voto electrónico para Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 146-158.
DOI: 10.18845/tm.v29i3.2894

1 Centro de Investigaciones en Computación, Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Costa Rica. Correo electrónico: jschmidt@itcr.ac.cr

2 Centro de Investigaciones en Computación, Tecnológico de Costa Rica, Alajuela. Costa Rica. Correo electrónico: jgutierrez@itcr.ac.cr



Palabras clave

Voto electrónico; urna electrónica; padrón electrónico.

Resumen

Las tecnologías digitales de comunicación e información se han incorporado de una forma transversal en muchas actividades cotidianas. Aquellas tecnologías de interés público se estudian con especial atención. Los procesos electorales, por su complejidad y requerimientos particulares, han venido adoptando la tecnología digital con recelo, pero sin cerrarle las puertas porque las oportunidades de mejorar y facilitar el proceso son alentadoras. En este artículo se presenta el desarrollo de un prototipo de voto electrónico adaptado a las particularidades costarricenses. La solución se implementó usando *software* con licenciamiento libre, por lo que es totalmente auditable. Su diseño y construcción son resultado del proyecto de investigación “Voto Electrónico”, del Tecnológico de Costa Rica.

Keywords

Electronic vote; electronic ballot box; electronic voters register.

Abstract

Digital communication and information technologies have been incorporated in our daily activities in a transversal way, and those of public interest have been studied particularly carefully. In electoral processes, because of their complexity and particular requirements, the adoption of digital technology have been done with suspiciousness, but without closing doors because of the encouraging opportunities to improve the process. In this article the aim is to present the process of developing a prototype for electronic voting adapted to the particularities of the Costa Rican electoral process. The implemented solution uses free licensed software, which makes it fully auditable. The design and construction of the prototype are results of research project “Electronic Vote”, adscribed in the Costa Rica Institute of Technology (TEC).

Introducción

Los procesos electorales costarricenses gozan de una gran tradición y respeto, sustentados en el buen trabajo que ha desempeñado, desde su creación en 1949, el Tribunal Supremo de Elecciones (TSE). Las funciones del TSE, según la Constitución Política del país, son la organización, dirección y vigilancia de los actos relativos al sufragio, es decir, abarcan la preparación de proyectos legales, la construcción y actualización del registro electoral, la planificación estratégica (división del territorio en distritos electorales), la inscripción de partidos y candidatos, el seguimiento de la campaña, la administración del proceso electoral (preparación y control del material requerido), actividades de información ciudadana a los votantes, capacitación de las personas que colaborarán en el proceso, la emisión del voto por parte de los ciudadanos empadronados, el escrutinio, transmisión y certificación de los resultados y la resolución de reclamaciones (Schmidt Peralta, 2007; Thompson Jiménez, 2009).

Además, las funciones que desempeña el TSE son afectadas por situaciones sociales, económicas y políticas como las siguientes (Sobrado González, 2007):



- Crecimiento demográfico: al aumentar la población, naturalmente aumentan las personas empadronadas como votantes y, por lo tanto, se hace más compleja la logística del proceso electoral.
- Integración de Juntas Receptoras de Votos: el aumento de votantes implica la apertura de más centros de votación. A esto se añade una problemática que se viene presentando y es el descenso de la participación ciudadana como colaboradores voluntarios del proceso electoral.
- Costos de la organización de los comicios nacionales: como ejemplo, entre 1990 y 2002 este costo se incrementó un 67,17%.
- Desarrollo económico: hay cambios en el estilo de vida de la población, se modifican hábitos y costumbres en parte como resultado de movimientos migratorios.
- Desarrollo tecnológico: este impacta en la mayoría de las actividades diarias de la sociedad, creando la necesidad de respuestas ágiles a las situaciones. En particular, hay una fuerte incidencia de este aspecto en la educación.
- Políticas gubernamentales: el Poder Ejecutivo ha impulsado políticas de gobierno digital, obligando a las instituciones a buscar nuevas y mejores formas de llevar a cabo sus funciones.
- Aumento de procesos electorales: a partir del año 2002 se separaron los comicios presidenciales de los municipales, con lo que cada dos años hay una elección organizada por el TSE. Además, en los últimos años dos elecciones presidenciales han sido definidas en segunda ronda (2002 y 2014) y se llevó cabo un referéndum (2007).

Dada la complejidad de las funciones del TSE y las situaciones por enfrentar, el uso de tecnología se convierte en un elemento clave para facilitar y mejorar su labor. Desde 1996, el TSE ha desarrollado actividades diversas con el fin de afianzar “mecanismos alternos para llevar a cabo un proceso electoral que reúna y supere las características del proceso actual en lo referente a seguridad, confiabilidad, accesibilidad, integridad, transparencia y simplicidad en el manejo, con los beneficios que hoy ofrece la tecnología” (Sobrado González, 2007). Estas actividades implicaron, además del tema técnico, reformar la normativa existente. Esta tarea culminó en 2009 con la promulgación de un nuevo Código Electoral, que incluye varias menciones explícitas a la posibilidad de utilizar tecnología electrónica para los procesos electorales.

Luego de varios años de análisis (desde 1996), en diciembre de 2002 el TSE llevó a cabo un plan piloto de votación electrónica durante las elecciones municipales, que constituye la primera experiencia de este tipo en el país y generó un aprendizaje importante para el Tribunal. En esta oportunidad no se utilizó ningún dispositivo de *hardware* especialmente diseñado para la recepción de votos, sino que fueron computadoras de propósito general las que ejecutaban una aplicación de *software* desarrollada íntegramente por el TSE. La aplicación del registro electrónico directo de votos emitía comprobantes impresos que luego eran depositados en la urna de las mesas electorales. La prueba contó con la participación de 80,000 personas que accedieron a votar con este mecanismo el día de la elección, lo que representa el 6% del padrón total (Ayala Sánchez, 2012).

Cabe mencionar que el Instituto de Investigaciones Sociales (IIS) de la Universidad de Costa Rica realizó una valoración positiva de la percepción de los votantes respecto al proceso de voto electrónico, al tiempo que consideran posible extender la modalidad a todo el territorio nacional (Sobrado González, 2008). Aún así Berrocal y Barrantes Sliesarrieva (2007) identificaron varios aspectos a mejorar como: la utilización de computadoras diseñadas específicamente para este propósito (más sencillas de transportar y adaptar a la topografía y disponibilidad del fluido

eléctrico del país), la necesidad de implementar *software* más seguro (para minimizar el fraude electoral) y disponible para ser auditado (disminuyendo la disconformidad social).

En los años siguientes a esa prueba piloto, el TSE se dedicó a examinar distintos modelos de votación electrónica, siendo el utilizado en Brasil el que más le llamó la atención por su accesibilidad, secreto del voto, seguridad y robustez (Berrocal & Barrantes Sliesarieva, 2007; Sobrado González, 2007). Este modelo está compuesto de dos elementos: una urna electrónica (tipo RED) y un dispositivo que permite la verificación de electores, un padrón electrónico. En dos ocasiones intentó el Tribunal utilizar este sistema en Costa Rica, para las elecciones presidenciales de 2006 y las municipales del mismo año, sin embargo, factores presupuestarios y logísticos impidieron concretar el proyecto.

A partir de esas experiencias y lecciones aprendidas, el TSE decide continuar con el plan de implementar el voto electrónico, haciendo un llamado al sector académico del país para ofrecer propuestas y trabajar en conjunto. El Tecnológico de Costa Rica (TEC), atendiendo este llamado, efectuó de manera conjunta varios estudios de la tecnología existente y definiendo las principales características tanto en *hardware* como en *software* que se requerirían para Costa Rica. Durante 2008 y 2009 se realizó un análisis de factibilidad y un estudio de mercado para evaluar las opciones tecnológicas que ofrecen las casas comerciales que desarrollan soluciones de voto electrónico. Se concluyó que los precios ofrecidos en forma comercial no están acordes con la realidad nacional. A raíz de esos resultados, se planteó el proyecto de investigación “Voto Electrónico” en el Tecnológico de Costa Rica, que recibió apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión a partir de 2011.

En paralelo, el TSE continuó trabajando en prototipos utilizando el modelo RED de voto electrónico, comenzando por la urna electrónica y la transmisión remota de resultados; también analizó la posibilidad de voto en línea y voto en el extranjero, siguiendo una modalidad presencial. Los altos costos de las alternativas analizadas, junto con las restricciones presupuestarias y el hecho de contar con proyectos de mayor prioridad, hicieron que el TSE entrara en un estado de espera para el proyecto de votaciones electrónicas.

Para la elección nacional de 2014 se intentó implementar el voto en el extranjero utilizando un dispositivo electrónico, sin embargo, la elección se hizo de la manera convencional pues no fue posible efectuar las pruebas de seguridad necesarias antes de los comicios. La incorporación del voto electrónico en el país se aplazó para la siguiente elección municipal, que se llevaría a cabo en 2016 (Araya, 2013). Sin embargo esto tampoco ocurrió pues los magistrados del TSE cambiaron de opinión con relación al uso del voto electrónico (Cruz, 2016) e inclusive tampoco será considerado para las elecciones presidenciales del 2018 (Jiménez, 2016). Para la misma época, el presente proyecto de investigación había logrado implementar un prototipo de dispositivo acorde a la realidad nacional, cuyas características se presentan a continuación.

En este artículo se presentan aspectos generales del desarrollo de un prototipo para voto electrónico contextualizado a los requerimientos del proceso electoral costarricense. Este trabajo se realizó como parte del proyecto de investigación “Voto Electrónico” del TEC. En la siguiente sección se explican distintas formas de voto electrónico y los retos asociados. En la tercera sección se presenta la propuesta de prototipo. En la última parte se detallan las pruebas realizadas y se presentan las conclusiones.

Voto electrónico

En su forma más amplia, voto electrónico se refiere a la utilización de tecnología electrónica para la automatización de un proceso electoral o parte de este (Thompson Jiménez, 2009). Una caracterización más puntual es limitarla a aquella tecnología que se utiliza en al menos una de



las etapas que se desarrollan el día de las elecciones, es decir: la verificación de la identidad del elector en el registro electoral, la emisión del voto, el conteo de votos y la transmisión de los resultados (Schmidt, 2007). Para efectos de este trabajo usaremos la segunda caracterización.

El voto electrónico se clasifica según la tecnología empleada (Schmidt, 2007; Busaniche, Heinz, Rezinovsky et al., 2008). De esta manera, se identifican tres tipos: (a) la automatización de procesos efectuados en papel (por ej., lectura de votos utilizando mecanismos ópticos), (b) el registro electrónico directo (RED), en el que se usan máquinas digitales para la recepción del voto e incluye los sistemas empotrados para votación conocidos como quioscos o urnas de votación y (c) la votación en línea, por internet.

Los sistemas de recuento automatizado, al utilizar papel que el votante marca de cierta forma para indicar su voluntad, permiten una auditoría posterior. Sin embargo, uno de los puntos negativos es que cualquier marca en el papel añadida a posteriori podría variar la voluntad del elector, una vulnerabilidad que, si bien es parte del mecanismo automatizado, existe también en un sistema de votación sin mediación de tecnología digital. Este tipo de votación electrónica se utilizó en Venezuela entre 1994 y 2003 (Busaniche, Heinz, Rezinovsky et al., 2008).

En el sistema RED se utiliza una máquina cuyo diseño es específico para realizar una votación electoral. La especialización del equipo puede darse en mayor o menor medida, pues una computadora convencional puede adaptarse para una votación RED; sin embargo, los sistemas más confiables son aquellos adaptados en mayor medida para una votación. El sistema electoral brasileño utiliza este tipo de dispositivos, también algunos estados de EE.UU. y Venezuela lo ha adoptado en la última década (Berrocal & Barrantes Sliesarieva, 2007; Kumar & Begum, 2012).

Las votaciones a través de internet permiten emitir el sufragio desde una computadora conectada a la red. Este mecanismo es, sin duda, el que presenta retos más grandes y complejos (Simons & Jones, 2012; Olsen & Nordhaug, 2012). Por ejemplo, la identificación de votantes implica ofrecer soluciones fiables para evitar que una persona vote varias veces y que no haya suplantación de identidad. Además, dado el funcionamiento del sistema, el servidor en el que se almacenarán los votos emitidos guardará un rastro de cada persona y eso podría generar una posibilidad de violentar el secreto del sufragio. Un problema que se debe sumar en este modelo de votación electrónica (y cualquiera que haga uso de internet) es que las comunicaciones por internet últimamente han estado en el centro del debate internacional por las revelaciones sobre la violación de la privacidad. Es importante aclarar que puede darse una votación a distancia sin que sea a través de internet, e incluso sin utilizar tecnología digital del todo, tal es el caso del proyecto de voto en el extranjero desarrollado por el TSE (Araya, 2013).

Desarrollo del prototipo de voto electrónico

Descripción general

El proyecto de investigación “Voto Electrónico” del TEC se planteó con el objetivo de ofrecer una propuesta de automatización del proceso electoral costarricense. La metodología se inició con la revisión de trabajos similares y antecedentes en el país, después se hizo el levantamiento de los requerimientos para el desarrollo del proyecto, para lo cual se contó con la colaboración constante de los miembros del TSE; luego se desarrolló el prototipo.

Si bien hay muchos aspectos importantes que guiaron el desarrollo, deben destacarse las siguientes características generales de la propuesta de voto electrónico definida:

- Separación de la identificación del votante y la urna; ambos sistemas deben ser independientes. Toda la información necesaria para operar debe ser previamente cargada.

- Todas las funciones del sistema deben guardarse en bitácoras digitales que podrán ser extraídas posteriormente con fines de auditoría. Estas bitácoras también pueden utilizarse como duplicados de los documentos exigidos por la legislación vigente.
- Ausencia de comunicación entre los dispositivos (Urna y Padrón). Esto evita que se manipule un sistema desde el otro y eso da mayor garantía y confianza en el secreto del voto.
- Impresión de comprobante de voto. Luego de que el elector manifieste su voluntad electoral debe imprimirse un comprobante, que el votante podrá observar para corroborar su decisión y luego este se depositará de forma automática en una urna.
- Uso de *software* libre. Si bien es cierto que el acceso al código fuente no es garantía de fiabilidad, lo que sí podemos asegurar es que una aplicación de voto electrónico cuyo código fuente no sea auditable debe descartarse del todo. Esta decisión abarca también al sistema operativo sobre el cual se ejecutarán las aplicaciones a desarrollar.

Con estas características generales, la propuesta se encaminó hacia la construcción de dos dispositivos empotrados: un sistema para la identificación de votantes y una urna electrónica. El primero centrado en buscar en el padrón a los votantes inscritos para ofrecer a los miembros de la mesa electoral información suficiente que les permita determinar si el ciudadano que se presenta a votar es quien efectivamente dice ser. La urna electrónica consiste en otro sistema empotrado donde, una vez que el votante ha sido identificado, recibe la decisión del elector de forma digital y la almacena de forma secreta (también imprime un comprobante para efectos de auditoría). Una vez establecidos los lineamientos generales de diseño, se procedió a hacer el diseño por casos de uso, que se presentan a continuación para cada uno de los dispositivos.



Figura 1. Imagen del prototipo de la urna electrónica

Requerimientos

Descripción de los casos de uso para el sistema de identificación de votantes o padrón electrónico:

1. *Comprobación del estado del sistema:* cada vez que el equipo se pone en funcionamiento realizará un chequeo total del sistema. Se almacena en un archivo los datos del sistema, la fecha y hora del reporte, de manera que permita una auditoría de cuantas veces ha sido

encendido el equipo. El chequeo revisa el *hardware* (dispositivos) y verifica que responda correctamente, el *software* (que el sistema operativo y las aplicaciones se cargan debidamente) y la configuración (información necesaria como el padrón de electores). Dicho chequeo se muestra en pantalla. Además, el reporte incluirá la versión de cada *software* y la configuración utilizada.

2. *Autenticación de miembros de mesa*: al encenderse, el sistema no se puede usar hasta que los miembros de dicha mesa se autenticquen, es decir ingresen sus credenciales (usuario y contraseña) y sean validadas por el sistema. Una vez autenticado, el sistema solo pedirá al miembro de mesa autenticarse nuevamente en tareas críticas asociadas a la apertura y cierre de la votación, por ejemplo: generar el acta de inicio y cierre
3. Acta de inicio: el sistema genera un acta en la que se registra información del estado inicial del dispositivo, como la fecha y hora del sistema; versión de la aplicación y parámetros de configuración utilizados.
4. Apertura de votación: es el proceso que permite a un miembro de mesa iniciar el proceso de identificación de electores.
5. Identificación del elector: cuando un elector llega a la mesa, debe identificarse entregando su cédula de identidad a los miembros de mesa. Se debe ingresar manualmente el número de cédula o hacerlo de manera automática mediante un dispositivo de lectura del código de barras de este documento. El sistema muestra en pantalla los datos personales y foto del elector. Los miembros de mesa deben determinar la autenticidad y validez del elector mediante la información dada por el sistema.
6. Ejercer voto: en la pantalla de los datos personales se muestra la información del elector, luego de que ha ejercido su derecho, el miembro de mesa registra la acción correspondiente a la confirmación de votación.
7. Información de la mesa y estado de votación: el sistema en todo momento debe permitir la consulta de información respecto a la mesa de votación y al estado actual de la votación. Esta información incluye: centro de votación al que pertenece, provincia, cantón, distrito electoral, número de junta y total de electores para la mesa específica, así como la hora de inicio y actual del sistema. Este procedimiento está contemplado en el código electoral vigente.
8. Cierre de votación: indica al sistema que no se van a identificar más electores o no se registrarán más votos.
9. Acta de cierre: El sistema genera un acta donde se registra la información del sistema al momento de la finalización del uso. La información es similar a la que se genera en el caso de uso "Acta de inicio".

Descripción de los casos de uso para la urna electrónica:

1. Inicializar urna: el presidente de la Junta Receptora, luego de autenticarse en el sistema, inicializa la urna para que quede lista para la recepción de votos. En este proceso la urna de forma automatizada hace una revisión de integridad de hardware y software, dejando constancia en una bitácora de registro de eventos.
2. Realizar voto: este caso de uso es la razón de ser del sistema y, como su nombre lo indica, es el encargado de recibir las votaciones y mostrar las diferentes opciones para votar.
3. Cierre de urna: la urna se cierra y no acepta más votaciones. Además se registra la justificación del cierre. Entre las razones posibles para la ejecución de este caso están: un mal funcionamiento del sistema durante la votación o indicios de intento de violación

de la integridad de los componentes del sistema.

4. Crear informe final de conteo: este caso de uso despliega los resultados obtenidos durante el proceso de votaciones.
5. Registrar nuevo usuario: consiste en ingresar un nuevo usuario en caso de que el actual no pueda acudir a los recintos de votación. Este caso de uso es más que todo de contingencia y solo puede haber un usuario del TSE activo por mesa.
6. Anular voto: este caso de uso se ejecuta en la situación en que se presenta una acción indebida por parte del votante y su voto debe ser anulado. Las situaciones indebidas están contempladas en el código electoral vigente.
7. Ingresar configuración: con este caso de uso se registran todos los usuarios de la urna, las papeletas y sus plantillas correspondientes.

Desarrollo del prototipo

El *software* de ambos dispositivos fue creado utilizando el lenguaje de programación C++, el entorno de desarrollo QtCreator 4 y como gestor de base de datos SQLite. En cuanto al *hardware*, para el padrón electrónico se utiliza una *netbook* con un procesador Intel Atom N270, sistema operativo Ubuntu 10.04 y un lector de códigos de barra (para leer la información de las cédulas de identidad). La urna electrónica usa una tarjeta de desarrollo “BeagleBone White” (procesador ARM), con el sistema operativo Debian estable; además, entre los periféricos, una pantalla táctil capacitiva, una impresora térmica y un identificador por radiofrecuencia.

Pruebas

Como antecedentes a la prueba llevada a cabo, el equipo de investigación del proyecto participó en varias actividades en las que se obtuvieron impresiones valiosas de los votantes, entre las que se destacan:

- Votación estudiantil de carácter oficial en el TEC, ocasión en la que estuvieron empadronados 88 estudiantes y se utilizó el padrón electrónico como mecanismo para identificar a los electores (Fonseca Quirós, 2013).
- VI Encuentro de Investigación y Extensión organizado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC (Brenes Gómez, 2014).
- Expo Ciencia, Tecnología e Innovación, organizado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones.

En las últimas dos actividades los asistentes pudieron utilizar tanto el padrón como la urna, sin que se registraran incidencias particulares.

El dispositivo completo fue sometido a pruebas durante las elecciones estudiantiles en el Liceo Poasito en 2015. Este centro educativo pertenece al distrito Sabanilla del cantón central de la provincia de Alajuela y está ubicado a unos 42 kilómetros al noroeste de San José. El índice de desarrollo social de la zona es “medio-bajo”, según el informe anual del Ministerio de Planificación para el año 2012. La población local se dedica principalmente a labores en agricultura, ganadería, floricultura y turismo. En una entrevista con la subdirectora del Liceo, la funcionaria describió a la población como esencialmente rural y con poco acceso a tecnología; como ejemplo, indicó que en 2014 se habilitó en el centro educativo una computadora para uso de los estudiantes con el fin de que tuvieran acceso a dicho recurso, ya que no existen en los alrededores establecimientos que brinden dicho servicio.



Figura 2. Mesas electorales en la votación estudiantil del Liceo Poasito. En primer plano, la mesa que utilizó voto electrónico y al fondo la mesa con el sistema tradicional.

Objetivos y metodología

El objetivo principal de la prueba fue evaluar el funcionamiento y la aceptación del prototipo en una votación real. La muestra (los votantes que participaron) fueron todos los estudiantes del Liceo Poasito, un total de 210, cuyas edades varían entre 12 y 18 años. La votación se llevó a cabo el día viernes 15 de mayo de 2015 entre las 10:00 y las 12:00 horas y contó con 147 electores.

La metodología empleada se basó en la evaluación que se llevó a cabo durante las elecciones de 2011 en Salta, Argentina, (López Mirau, Ovejero & Pomares, 2012), donde se aplicó un instrumento a dos grupos de electores: uno utilizando el método tradicional y otro con el voto electrónico. Para emular esta metodología se le solicitó al Liceo Poasito la colaboración para contar con dos mesas receptoras de votos y el padrón electoral se dividió de igual forma en dos grupos. Cada mesa receptora contaba con su propio padrón, urna y una caja receptora de votos.

Para ejercer el voto los estudiantes se acercaban al recinto electoral y eran dirigidos a la mesa correspondiente donde serían identificados. En el caso de aquellos alumnos empadronados en la mesa que utilizó el voto electrónico, recibían una breve explicación del funcionamiento de la urna electrónica. Luego de ejercer el voto en la urna correspondiente, debían depositar la papeleta (en el caso del voto tradicional) o el comprobante (voto electrónico) en la caja receptora. Para finalizar, varios profesores del Liceo colaboraron aplicándole a cada estudiante el instrumento de evaluación del proceso.

Instrumento

Se hicieron dos preguntas a todos los votantes y otras tres únicamente a quienes ejercieron el voto electrónico. Los ítems aplicados a todos los estudiantes están asociados a la percepción de confianza en el sistema de elección, tal como se planteó en la evaluación llevada a cabo en 2011 en Salta (López Mirau, Ovejero & Pomares, 2012). El instrumento utilizado es de respuesta cerrada. Todas las respuestas se manejaron de manera anónima.

Las dos preguntas obligatorias del instrumento fueron: ¿Está seguro que su voto fue registrado correctamente? y ¿Está seguro de que su voto es secreto?; en ambos casos las opciones de respuesta fueron: Seguro, Inseguro y No sabe. Las tres preguntas adicionales a quienes utilizaron el sistema electrónico fueron (las opciones de respuesta se presentan entre paréntesis): ¿Cómo considera este sistema de votación electrónico utilizado? (Fácil de usar, Difícil de usar), Ud. ha votado en otras ocasiones utilizando un sistema convencional de voto, ¿Cómo considera el sistema de voto electrónico? (Mejor, Igual y Peor) y ¿Qué tipo de votación prefiere en la próxima elección? (Manual, Electrónica, y Le da Igual).

Resultados

Desde una perspectiva técnica, relacionada con el objetivo de evaluar el funcionamiento del prototipo, tanto el padrón como la urna electrónica se comportaron de la forma esperada. El resultado obtenido en la urna electrónica fue concordante con el obtenido por medio del conteo manual. Durante las votaciones se atendieron dos dudas referentes a la usabilidad del dispositivo; en ambos casos, con una explicación sobre los elementos desplegados en la pantalla, los votantes lograron completar el proceso.

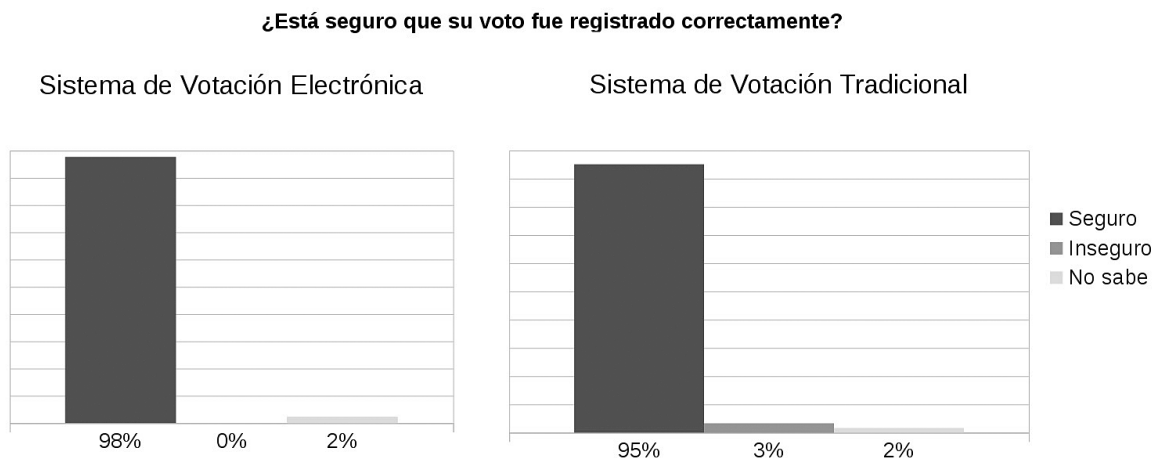


Figura 3. Respuestas a la pregunta: ¿Está seguro que su voto fue registrado correctamente?

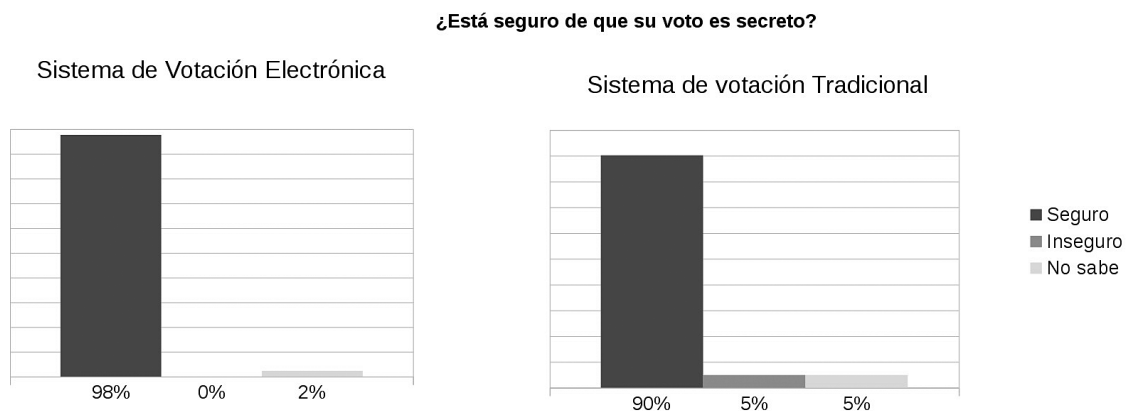


Figura 4. Respuestas a la pregunta: ¿Está seguro de que su voto es secreto?

Con relación a la aceptación del prototipo, el instrumento se aplicó a 86 estudiantes que utilizaron el sistema de votación electrónica y 61 que lo hicieron en la mesa de votación tradicional; el total de electores fue de 147 (el total de empadronados era de 210). Los resultados obtenidos muestran que el nivel de confianza en el sistema electoral es alto, tanto en la forma en se registra el voto como en la garantía de que es secreto. Esta confianza prácticamente no presenta ninguna variación al usar uno u otro sistema de votación (tradicional o electrónico).

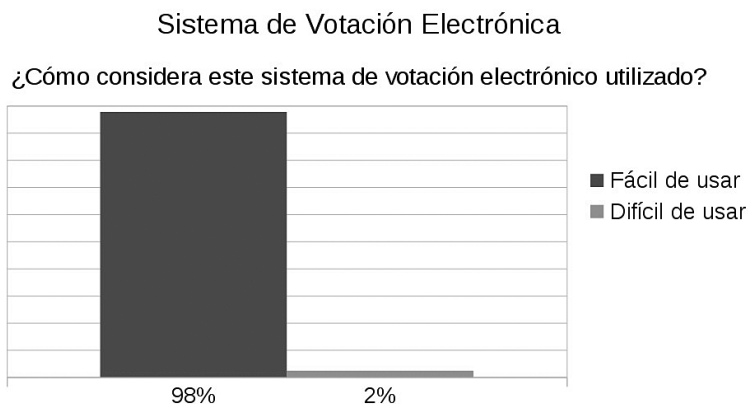


Figura 5. Respuestas a la pregunta: ¿Cómo considera este sistema de votación electrónico utilizado?

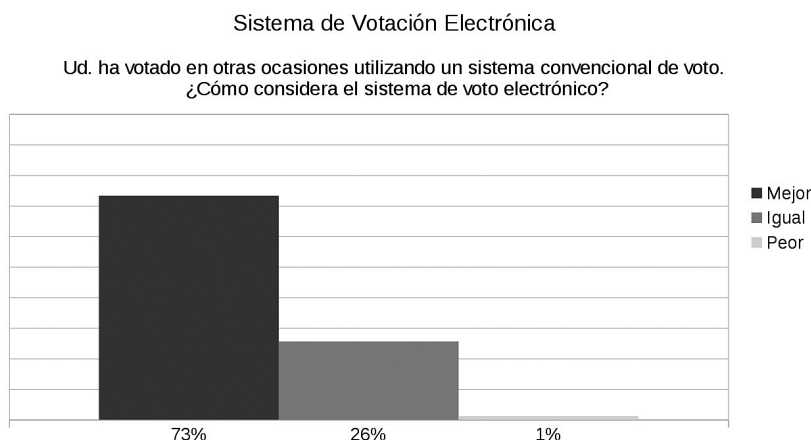


Figura 6. Respuestas a la pregunta: Ud. ha votado en otras ocasiones utilizando un sistema convencional de voto. ¿Cómo considera el sistema de voto electrónico?

El 98% de quienes ejercieron el voto de forma electrónica consideraron el sistema fácil de usar (el restante 2% indicó que era difícil de usar). Al compararlo con el sistema tradicional de votación, un 99% responde que es mejor o igual. Finalmente, al 81% de los encuestados les gustaría volver a utilizar un sistema de votación electrónica en una siguiente elección, mientras que solo al 2% le gustaría usar un sistema de votación tradicional.

Una limitación encontrada en la prueba es que, al ser una votación estudiantil, la rigurosidad en el registro de incidencias durante el proceso fue muy baja. Una situación que ocurrió sin ser registrada fue el caso de un estudiante que estando empadronado en la mesa de voto electrónico emitió su voto en la del sistema tradicional. Esto fue anotado como incidencia por los

observadores de la votación, miembros del proyecto de investigación “Voto Electrónico”, pero no así por los estudiantes que ejercieron como fiscales.

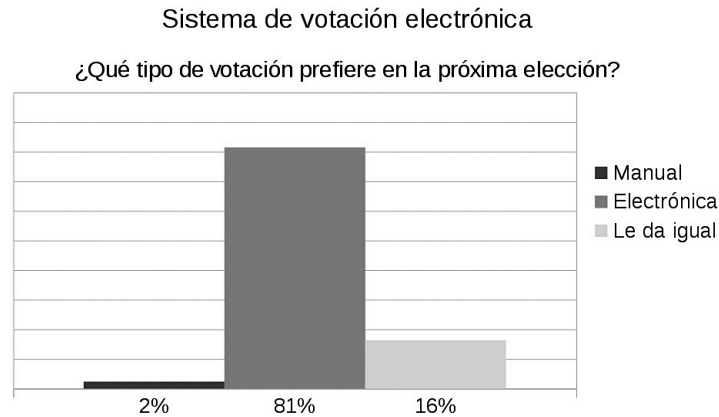


Figura 7. Respuestas a la pregunta: Ud. ha votado en otras ocasiones utilizando un sistema convencional de voto. ¿Cómo considera el sistema de voto electrónico?

Conclusiones y trabajo futuro

Entre los puntos más altos de la prueba está la auditabilidad del sistema. El uso de un sistema operativo libre es una forma de garantizar que no solamente el código desarrollado sino también el necesario para ejecutar el sistema son auditables y, por lo tanto, más confiables. A pesar de esto, desde el punto de vista técnico-administrativo, al utilizar *software* libre para la implementación del sistema aumentó la dificultad para poner a trabajar todos los dispositivos del empotrado, pues en algunos casos no se contaba con suficiente información para la instalación y uso en sistemas operativos basados en Linux, lo que en muchos casos implicó una dedicación adicional en tiempo para lograr acoplar bien cada componente al prototipo.

El prototipo de voto electrónico presentado en este artículo ha sido diseñado siguiendo los lineamientos del TSE. Aunque el dispositivo no ha podido ser sometido a prueba en una elección oficial organizada por el Tribunal, sí fue evaluado de forma satisfactoria en las pruebas realizadas en votaciones estudiantiles del TEC y en el Liceo Poasito. En ambos casos los procesos electorales contaron con características muy similares a los organizados por el TSE, quedando demostrada la flexibilidad de configuración del dispositivo. La encuesta entre los estudiantes que participaron en la prueba del dispositivo en el Liceo Poasito arrojó resultados muy positivos en cuanto a la seguridad, confiabilidad, transparencia y sencillez del prototipo.

Con respecto al trabajo futuro, se planea llevar a cabo más pruebas en votaciones reales con distintas poblaciones que permitan identificar mejoras al prototipo. En esas pruebas se agregarán variables más específicas para medir las percepciones de los votantes en cuanto a usabilidad de los dispositivos. Además, se recomienda generar espacios de difusión entre la ciudadanía para intercambiar impresiones sobre el tema.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC por su apoyo al proyecto. Al Tribunal Electoral Estudiantil del TEC y al personal administrativo y estudiantes del

Liceo Poasito, por permitirnos llevar a cabo la prueba con el dispositivo durante sus elecciones. De forma especial, se agradece a los estudiantes asistentes que formaron parte del proyecto de investigación “Voto Electrónico”.

Bibliografía

- Araya, A. (2013). TSE aborta plan piloto de voto electrónico en el extranjero. *El Financiero*. Disponible en: http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/TSE-aborta-piloto-electronico-extranjero_0_433756632.html?print=1
- Ayala Sánchez, A. (2012). El voto electrónico en el mundo. En *Democracia en la era digital*, 28, 239-251. Disponible en: <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/libro.htm?l=3191>
- Berrocal, A. & Barrantes Sliesarieva, G. (2007). Consideraciones de Seguridad para la Implementación de un Sistema de Voto Electrónico en Costa Rica. *Tiempo Compartido*, 7(3), 12-21.
- Brenes Gómez, L.C. (2014). Estudiantes del TEC expusieron proyecto para emitir Voto Electrónico. *BS Noticias*. Disponible en: <http://www.bsnoticias.cr/nacionales/item/4200-estudiante-del-tec-expusieron-proyecto-para-emitar-el-voto-electronico>
- Busaniche, B., Heinz, F., Rezinovsky, A. et al. (2008). *Voto electrónico: Los riesgos de una ilusión*. Córdoba, Argentina: Ediciones Vía Libre.
- Cruz, M. (2016). TSE descarta voto electrónico para elecciones municipales 2016. *El Financiero*. Disponible en: http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/TSE-descarta-electronico-elecciones-municipales_0_880111983.html
- Código Electoral. (2009). Ley N° 8765. Disponible en: <https://www.tse.go.cr/pdf/normativa/codigoelectoral.pdf>
- Fonseca Quirós, A. (2013). El próximo sistema de votación electrónica tendría sello TEC. *Blog de Noticias TEC*. Disponible en [http://www.tec.ac.cr/prensa/blog/Lists/Entradas de blog/Post.aspx?List=4d953c52-6ce3-44c7-8b4e-eecade55dccc&ID=455&Source=http://www.tec.ac.cr/prensa/blog/default.aspx](http://www.tec.ac.cr/prensa/blog/Lists/Entradas%20de%20blog/Post.aspx?List=4d953c52-6ce3-44c7-8b4e-eecade55dccc&ID=455&Source=http://www.tec.ac.cr/prensa/blog/default.aspx)
- Jiménez, A. (2016). Voto electrónico es imposible de implementar para 2018 por déficit fiscal del país, sostiene TSE. Amelia Rueda. Disponible en: <http://www.ameliarueda.com/nota/voto-electronico-imposible-mplementar-2018-deficit-fiscal-fiscal-tse>
- Kumar, D.A. & Begum, T.U.S. (2012). *Electronic voting machine. A review*. International Conference on Pattern Recognition, Informatics and Medical Engineering, PRIME 2012, 41-48. doi:10.1109/ICPRIME.2012.6208285
- López Mirau, G., Ovejero, T. & Pomares, J. (2012). The Implementation of E-voting in Latin America: The Experience of Salta, Argentina from a Practitioner’s Perspective. En *Proceedings of the 5th Conference on Electronic Voting 2012 (EVOTE2012)* (pp. 213-224).
- Olsen, K.A. & Nordhaug, H.F. (2012). Internet elections: Unsafe in Any Home? *Communications of the ACM*, 55(8), 36. doi:10.1145/2240236.2240251
- Schmidt Peralta, J. (2007). Tecnologías de Voto Electrónico. *Tiempo Compartido*, 7(3), 22-28.
- Simons, B. & Jones, D.W. (2012). Internet voting in the U.S. *Communications of the ACM*, 55(10), 68. doi:10.1145/2347736.2347754
- Sobrado González, L.A. (2007). ¿Por qué Voto Electrónico? *Tiempo Compartido*, 7(3), 6-11.
- Sobrado González, L.A. (2008). Las instituciones electorales en un contexto de transición tecnológica: hacia el voto electrónico en Costa Rica. *Revista Elecciones*, (8), 25-50.
- Thompson Jiménez, J. (2009). La experiencia reciente del voto electrónico en América Latina: avances y perspectivas. *Revista de Derecho Electoral, Primer Semestre 2009*(7), 1-35.

Atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca, Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Costa Rica

Natural attractions in the area Gandoca
National Wildlife Refuge Gandoca
Manzanillo, Limón, Costa Rica

Karla Rojas-Jiménez¹, Nicllen Rodríguez-Rojas²,
Lilliana Piedra-Castro³

Fecha de recepción: 24 de agosto de 2015
Fecha de aprobación: 21 de diciembre de 2015

Rojas-Jiménez, K; Rodríguez-Rojas, N; Piedra-Castro, L.
Atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca, Refugio
Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo. *Tecno-
logía en Marcha. Tecnología en Marcha. Vol. 29, N° 3. Pág.*
159-168. DOI: 10.18845/tm.v29i3.2895



- 1 Maestría en Manejo de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Gestora ambiental y biológica. Costa Rica. Correo electrónico: karoji10@gmail.com
- 2 Maestría en Manejo de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Costa Rica. Correo electrónico: nicllen@gmail.com
- 3 Msc. en Manejo y Conservación de Vida Silvestre. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Costa Rica. Correo electrónico: lilliana.piedra.castro@una.cr

Palabras clave

Gandoca; atractivos turísticos; turismo, participación comunitaria; Costa Rica.

Resumen

En la planificación del espacio físico, la determinación de los atractivos ecoturísticos en áreas silvestres protegidas de carácter mixto es fundamental para orientar los usos permitidos y la gestión comunal. Este trabajo identificó los atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca del Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica. Para esto, se realizó un taller participativo con sectores comunales y miembros de la administración del refugio. Se hicieron recorridos de campo, visitas guiadas y la validación de los atractivos con la participación de informantes clave. Cada uno de los atractivos ecoturísticos fue georreferenciado y se caracterizó con base en la metodología propuesta por el Instituto Costarricense de Turismo. Se determinó la presencia de los siguientes atractivos: costa, montaña, laguna costera, manglar, cativales, avistamiento de vida silvestre con énfasis en tortugas marinas, principalmente la tortuga baula, entre otros. De estos, el que obtuvo la mayor jerarquía (4) fue el avistamiento de flora y fauna, mientras que entre los que obtuvieron menor jerarquía están las playas y los senderos. El atractivo más importante para la comunidad es el avistamiento de tortugas marinas, seguido de la laguna. Se concluye que en este sector hay 12 tipos de atractivos naturales y que la actividad turística ha estado centrada en la tortuga baula. Se considera que los demás elementos identificados deben ser incorporados en una propuesta de gestión que promueva el desarrollo local.

Keywords

Gandoca; tourist attractions; tourism; community participation; Costa Rica.

Abstract

The physical planning is an element contributing to the socioeconomic development. Within this process, the determination of ecotourism attractions in protected wilderness areas of mixed character is essential to guide the permitted uses and community management. This study aimed to identify the natural attractions Gandoca sector, the National Wildlife Refuge Gandoca Manzanillo, Limon, Costa Rica. To which a participatory workshop was held with various community sectors and members of management of the refuge. Additionally, field visits were conducted, guided by members of the community and the validation of the attractions with the participation of key informants. Each was georeferenced and characterized based on the methodology proposed by the Costa Rican Tourism Institute (ICT). We determined the presence of the following types of attractions: coast, mountain, coastal lagoon, mangrove, cativales, wildlife sightings with emphasis on sea turtles, among others. On the issue of sea turtles, the most important is the leatherback turtle sightings. From these attractions which turned out to be more important or valued was the sighting of flora and fauna. The attraction won the highest ranking (5) was wildlife sightings while which had the lowest hierarchy (1) was the beach. The most important attraction for the community was the sea turtle sightings followed the mangroves. We conclude that in this area there are 10 types of natural attractions and tourist activity has been focused on the leatherback turtle. These elements identified should be incorporated into a management proposal to promote local development.

Introducción

El ecodesarrollo es la política oficial de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que se basa en el hecho de que la calidad del ambiente no puede mejorarse mientras se mantenga la condición de pobreza y que el mecanismo para lograr el desarrollo pasa por generar las condiciones de vida adecuadas en los países subdesarrollados. Esta idea se promulgó desde la Conferencia de Estocolmo (1972), en la que se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (OMT, 2000). Esta propuesta se amplió con el establecimiento del concepto de conciencia ambiental, que se desarrolló con base en los acuerdos la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, dando origen a nuevas conceptualizaciones de desarrollo sostenible (Salazar *et al.*, 2002).

Costa Rica se caracteriza por presentar diversos contrastes naturales que lo han convertido en un destino turístico del Neotrópico. Estos atractivos van desde la presencia representativa de las cordilleras centroamericanas, donde es posible observar una serie de volcanes activos e inactivos, hasta las dos costas que bañan su territorio. De manera que el país cuenta con un conjunto importante de playas y otros atractivos costeros.

Sumado a lo anterior, se ha desarrollado un sistema nacional de áreas protegidas que cubren alrededor del 27% del territorio continental del país y cerca del 5% del territorio del mar patrimonial (Vargas, 2006). Estas áreas protegidas poseen diferentes categorías de manejo que garantizan su conservación. Por todo esto, es inevitable reconocer el papel e importancia que tienen las áreas protegidas como focos de atracción turística, dado que representan una fuente de recursos, un servicio público y una forma de obtener respaldo social de cara a la conservación (Quesada, 2000).

Por estas razones, y con el fin de mejorar la planificación del espacio físico turístico, se cuenta con 10 unidades de planeamiento establecidas por el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) (Quesada, 2000).

Es importante señalar que el turismo, tal como se desarrolla actualmente en algunas áreas protegidas donde la planificación es limitada y se sobrepasan los límites propuestos, produce daños que pueden llegar a ser graves e incluso irreversibles. Estas prácticas inadecuadas en el manejo de la actividad turística en áreas protegidas han llevado al desarrollo y aplicación del concepto de turismo sostenible.

El turismo sostenible hace referencia al proceso que permite el desarrollo de un área reduciendo al máximo los impactos ambientales y los efectos de degradación y agotamiento de sus recursos naturales. El turismo sostenible es parte del concepto de sustentabilidad, eso quiere decir que esta actividad incorpora los aspectos económicos, socioculturales y medioambientales (Salinas-Chávez y La O-Osorio, 2006).

Estas condiciones que hacen del turismo una actividad de menor impacto se pueden evaluar de acuerdo con diferentes ramas de la ciencia, como la geografía del turismo y la geografía turística. La primera contribuye con el estudio de las relaciones que se dan entre el espacio y las actividades turísticas mediante la documentación en mapas de diferentes escalas; por su parte, la segunda se encarga del estudio que se realiza sobre la imagen turística, las variables demográficas, de migración turística, las funciones de producción turística y el impacto económico, social y ambiental del turismo (Alvarado y Miranda, 2011).

El objetivo del presente trabajo fue identificar los atractivos turísticos naturales en el sector Gandoca del Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA), en la provincia de Limón, Costa Rica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Área de Conservación La Amistad-Caribe (ACLA-C) se encuentra entre los cantones de Talamanca y Limón. Se trata de una región policultural rica en biodiversidad y tradiciones, donde conviven indígenas, latinos y descendientes de chinos y afrocaribeños (ProAmbi, 1996). El Refugio de Vida Silvestre Mixto Gandoca-Manzanillo (REGAMA) forma parte de ACLA-C y fue creado en julio de 1985 mediante el Decreto Ejecutivo 16614-MAF01 y declarado Sitio Ramsar el 11 de diciembre de 1995 (Weitzner & Fonseca, 2000). A su vez, ACLA-C pertenece al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

El propósito principal de la creación del REGAMA es proteger y conservar las poblaciones, hábitats y especies de flora y fauna presentes, ya que además de ser una zona rica en playas arenosas, plataformas carbonatadas y otras características geomorfológicas relevantes, en este refugio se encuentra un importante complejo arrecifal del Caribe costarricense. Así mismo, existen asociaciones vegetacionales como los manglares, los pantanos inundables de yolillo (*Raphia taedigera*), cativo (*Prioria copaifera*) y sangrillo (*Pterocarpus officinalis*), así como muestras representativas del bosque húmedo tropical de gran valor ecológico.

El refugio es un área destinada a la protección de especies en peligro de extinción, como la danta, diversas especies de monos y felinos silvestres y el manatí. Además, en él se encuentra el único banco natural de ostión de mangle del país (MINAE, 1996).

Metodología

El presente estudio se realizó entre febrero y agosto de 2013. Durante ese período, las investigadoras visitaron con frecuencia la comunidad, con el fin de llegar a ser percibidas como elementos conocidos. Se realizó un taller participativo en el que los participantes llenaron un formulario a partir del cual se identificaron los recursos naturales de la zona. Se contó con la participación de miembros de la Asociación de Desarrollo Integral de Gandoca (ADIG), la Asociación MicroEmpresarial de Productores y Productoras Agropecuarias de Gandoca (ASOMIPAC), la Asociación de Guías y Ecologistas de Gandoca y el personal del sector Gandoca del REGAMA.

Con base en la información recopilada durante el taller, se efectuaron recorridos guiados en campo para la georreferenciación de los recursos turísticos naturales identificados por la comunidad. Para la ubicación se utilizó un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés).

Así mismo, para el análisis de la información se empleó la metodología de inventario turístico de la Organización de Estados Americanos (OEA) (Alvarado, 2007), que clasifica los recursos turísticos naturales en categorías, tipos y subtipos, con el fin de generar la información necesaria para el examen crítico de los recursos relevantes y establecer el interés turístico sobre bases objetivas y comparables, asignándoles la jerarquía de importancia turística (cuadro 1).

Además, se realizó el análisis de incidencia de los factores internos y externos para determinar la vocación turística de los recursos naturales identificados. Las puntuaciones para determinar la vocación turística de los recursos y atractivos turísticos se clasificaron en *alta* entre los 1,4 y los 2 puntos, *media* entre los 0,7 y 1,3 puntos y *baja* entre 0 y 0,6 puntos.

Los factores internos que se evaluaron fueron la incidencia del tiempo atmosférico, el esfuerzo físico, la seguridad, las facilidades, la dificultad de acceso y la diversidad interpretativa.

Cuadro 1. Evaluación de atractivos turísticos de acuerdo con las jerarquías propuestas de la OEA

Jerarquía	Definición
Jerarquía 5	Atractivo con rasgos excepcionales y gran significación para el mercado turístico internacional, capaz por sí solos de motivar una importante corriente de visitantes (actual o potencial).
Jerarquía 4	Atractivo excepcional capaz de motivar una corriente (actual o potencial) de visitantes nacionales o extranjeros, ya sea por sí solo o en conjunto con otros atractivos contiguos.
Jerarquía 3	Atractivo con algún rasgo llamativo, capaz de interesar a visitantes de larga distancia que hubiesen llegado a la zona por otras motivaciones turísticas.
Jerarquía 2	Atractivo con interés, capaz de motivar corrientes turísticas regionales o locales.
Jerarquía 1	Atractivo sin méritos suficientes para considerarlo a nivel de las jerarquías anteriores pero que juegan un papel complementario, diversificado o potenciado al resto de los recursos.

Fuente: Alvarado (2007).

Los factores externos evaluados fueron la accesibilidad, la conectividad, la proximidad a centros emisores, la singularidad, la información turística y la importancia del recurso o atractivo.

Resultados y discusión

Desde el punto de vista turístico, la Organización Mundial del Turismo (OMT) define las actividades turísticas como aquellas capaces de satisfacer las necesidades de los turistas y de las regiones hospederas actuales, al mismo tiempo, que protegen y mejoran las oportunidades para el futuro. Sin embargo, esta filosofía viene acompañada de varias prácticas voluntarias que siguen recomendaciones hechas por estudios previos y en cumplimiento de la normativa nacional (Báez *et al.*, 1998).

Tomando como base lo anterior, se considera atractivo turístico aquellos recursos que son la motivación para el desplazamiento de los turistas de acuerdo con la clasificación de la OEA, que los clasifican en cuatro categorías, donde la principal corresponde a los sitios naturales (Alvarado, 2007). En el sector Gandoca del REGAMA se lograron identificar 10 atractivos turísticos naturales, los cuales se clasifican dentro de ocho tipos de sitios naturales, siendo los más importantes la costa, la montaña y las zonas para el avistamiento de la flora y la fauna (cuadro 2).

Los atractivos turísticos naturales están constituidos por Playa Gandoca, Playita, Punta Mona, Boca de la Laguna de Gandoca, manglar de Gandoca, río Middle Creek, Sendero La Cativera, Sendero a Manzanillo, Sendero a Playita y Boca del río Sixaola. Cada uno de estos atractivos se describe a continuación:

1. Playa Gandoca: es una playa de fácil acceso, con arena negra, con una longitud de cerca de 11 km, rodeada de vegetación de playa como el coco (*Cocos nucifera*), la guaba salada (*Inga densiflora*), el majagüillo de playa (*Talipariti tiliaceum*) y el jícaro de playa (*Amphitecna latifolia*) y que conecta la localidad de Gandoca con Punta Mona y con la boca del río Sixaola. Esta playa es visitada por gran cantidad de personas de las comunidades aledañas y turistas nacionales, debido a se puede pescar con cuerda desde la orilla. Entre los meses de febrero y agosto se convierte en el lugar de anidación de la tortuga baula y la tortuga verde.

Cuadro 2. Inventario, categorización y jerarquización de los atractivos turísticos naturales del sector Gandoca, REGAMA.

Categorías	Tipo	Subtipo (atractivo)	Jerarquía
Sitios Naturales	1.1. Costas	Playa Gandoca	1
		Playita	1
		Punta Mona	2
		Boca del río Sixaola	1
	1.2. Montaña	Manglar	3
		Sendero Cativera	1
		Sendero Manzanillo	1
		Sendero Playita	1
	1.3. Lagos, lagunas y esteros	Laguna de Gandoca	3
	1.4. Ríos	Middle Creek	1
	1.5. Lugares de observación de flora y fauna	Laguna de Gandoca	3
		Punta Mona	2
		Senderos	1
		Playa (temporada de tortugas)	4
	1.6. Lugares de caza y pesca	Playa Gandoca	1
		Boca de Laguna Gandoca	1
	1.7. Caminos pintorescos	Sendero a Manzanillo	1
		Sendero La Cativera	1
Sendero a Playita		1	
1.8. Parques Nacionales y Reservas de flora y fauna	Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo	4	

2. Playita: es una playa de arena blanca que presenta una piscina natural durante la marea baja, formada por un arrecife y que actúa como rompeolas. Los visitantes pueden nadar en ésta. La playa tiene una longitud de 200 m y el acceso es de medio a difícil, este es afectado por la época del año (lluviosa-seca) y el estado del sendero. En ella anidan las tortugas carey entre los meses de febrero y agosto.
3. Punta Mona: es un espacio natural que se ubica entre Manzanillo y Gandoca, en un accidente geográfico que sobresale en la línea de costa. Se puede llegar caminando o en lancha. Se caracteriza por tener arena blanca. Es un área donde se puede nadar y hacer *snorkeling* con seguridad. Se pueden observar tiburones nodriza (*Ginglymostoma cirratum*), peces como la damisela de cola amarilla (*Microspathodon chrysurus*), el cirujano azul (*Acanthurus coeruleus*) y la doncella payaso (*Halichoeres maculipinna*), así como los corales de fuego (*Millepora complanata*) y otros corales como *Siderastrea siderea*, *Diploria clivosa* y *Sylaster roseus*, entre otras especies.
4. Boca de la Laguna de Gandoca: es un área de fácil acceso. En ella se permite la pesca con cuerda y es un lugar donde se puede admirar parte del manglar y la laguna de

Gandoca. En ocasiones, se pueden observar los manatíes cuando se encuentran cerca de la orilla de la playa, también se pueden ver cocodrilos (*Crocodylus acutus*) y aves acuáticas.

5. Laguna de Gandoca: es un espejo de agua de 1,2 km y tiene una profundidad máxima de 12,5 m (MINAE, 1996). Es un área de aguas lentas, donde se puede observar flora y fauna relacionadas con este tipo de hábitat, además cuenta con ciertos lugares en donde los visitantes pueden nadar sin ningún peligro.
6. Manglar de Gandoca: es un área de bosque siempreverde, donde los visitantes pueden observar la vegetación característica, como mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle caballero (*Rhizophora racemosa*), mangle botón (*Conocarpus erectus*) y otras formaciones vegetales, así como su relación con la fauna y la laguna. También se puede observar vegetación asociada al manglar, como cativo (*Prioria copaifera*, Caesalpinaceae), sangrillo (*Pterocarpus officinalis*, Fabaceae) y yolillo (*Raphia taedigera*, Arecaceae). Los monos congo (*Allouata palliata*) y carablanca (*Cebus capucinus*) son fáciles de observar.
7. Río Middle Creek: es el río que limita el sendero de la Cativera. Es un área rodeada de bosque secundario, vegetación de playa como el coco (*Cocos nucifera*), la guaba salada (*Inga densiflora*), el majagüillo de playa (*Talipariti tiliaceum*) y el jícaro de playa (*Amphitecna latifolia*). Es una zona donde los visitantes pueden nadar. En las márgenes del río se forman pantanos ocasionales en los que se pueden observar nutrias (*Lontra longicaudis*).
8. Sendero La Cativera: es un sendero plano, de bosque secundario, donde se pueden observar diferentes especies de flora y fauna. Es un rodal casi puro de cativo (*Prioria copaifera*) en el que habita la rana roja venenosa (*Oophaga pumilio*).
9. Sendero a Manzanillo: es un camino rústico que va entre la orilla de la playa y el bosque costero del refugio. Tiene alrededor de cinco lomas de poca inclinación y posee gran diversidad de flora y fauna, así como miradores desde donde se pueden observar acantilados y otras playas.
10. Sendero a Playita: es un sendero pintoresco; una parte se recorre por la orilla de Playa Gandoca y otra por el bosque secundario. Antes de llegar a la playa se debe bajar una loma de moderada inclinación. Se pueden observar diferentes especies de plantas, monos, reptiles y anfibios.
11. Boca del río Sixaola: es una zona en la que se permite la pesca con cuerda, rodeada de vegetación de playa. Para llegar se debe caminar sobre Playa Gandoca.
12. Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo: posee 9449 hectáreas, de las cuales 5013 representan la parte continental y 4436 corresponden al área marina. Su composición geológica forma parte del cinturón deformado del norte de Panamá, que incluye las cuencas sedimentarias de Limón y Bocas del Toro. El refugio se encuentra dividido en 15 zonas, establecidas según sus características físicas y de uso, nueve de éstas pertenecen a zonas terrestres y seis a zonas marino-costeras (Zamora-Trejos, 2006).

La mayor jerarquía de los recursos fue para el atractivo Playa Gandoca y la menor para los senderos presentes en el área y las playas (cuadro 2).

Los puntajes de la valoración de factores internos de los recursos turísticos del REGAMA en el sector Gandoca muestran que el sendero Manzanillo fue el que obtuvo valores más altos, mientras que Middle Creek y Playa Gandoca mostraron los valores más bajos (cuadro 3).

El 80% de los recursos naturales turísticos tiene una vocación media (figura 1), debido a que la mayoría obtuvo un valor alto en el factor de incidencia del tiempo atmosférico. Los cambios climáticos a nivel global son el principal responsable de este factor, ya que alteran los procesos naturales; el que más influye en esta zona es el cambio en la dirección de las corrientes de aire y agua, que vuelve impredecibles los patrones de lluvia. También cabe mencionar el deshielo de los casquetes polares, que aumenta el nivel del mar, modificando las características y uso del suelo (Salazar *et al.*, 2002). En segundo lugar, está el esfuerzo físico, siendo los factores internos y externos analizados, los que hacen que un 10% de los recursos sea de vocación alta.

Cuadro 3. Evaluación de los factores internos de los recursos naturales presentes en el sector Gandoca, REGAMA, Limón, Costa Rica.

Recurso	Valor promedio	Incidencia	Vocación turística
Playa Gandoca	0,7	Media	Media
Playa Playita	1,2	Media	Media
Sendero Playita	1,2	Media	Media
Punta Mona	0,8	Media	Media
Boca del río Sixaola	1,0	Media	Media
Manglar	1,0	Media	Media
Sendero Cativera	1,3	Media	Media
Laguna de Gandoca	1,0	Media	Media
Middle Creek	0,5	Baja	Alta
Sendero Manzanillo	1,5	Alta	Baja
Playa Gandoca (temporada de tortugas)	0,5	Baja	Alta

Los atractivos que cuentan con vocación turística baja representan un 10%. Se trata de zonas alejadas, sin embargo, tienen gran importancia ya son lugares muy utilizados por la población local para movilizarse de Manzanillo a Gandoca y viceversa. La razón principal de que estos atractivos sea de baja vocación se debe, principalmente, a la carencia de equipo, la falta de inversión, infraestructura y personal que le dé mantenimiento.

La valoración de los factores externos de los recursos turísticos del REGAMA mostraron que Middle Creek tiene el valor más alto mientras que Punta Mona presenta el más bajo (cuadro 4). A partir de esta información, se demuestra que la vocación turística está dividida en tres, donde un 48% corresponde a vocación baja, un 45% a una vocación media y un 10% a una vocación alta. La razón principal de estas categorías es que esta es una zona muy alejada de centros urbanos, de poca accesibilidad y conectividad con otras áreas; además existe falta de información turística del área de estudio y las personas que han escuchado del lugar tienden a pensar que es un lugar donde solamente se desarrollan proyectos relacionados al desove de tortugas.

Según Gastezzi (2003), el turismo que se desarrolla en Gandoca comenzó alrededor del año 1998, el cual a diferencia de otras poblaciones como Puerto Viejo, Manzanillo y Cahuita,

dirigido a la protección de tortugas marinas. Debido a esta actividad es que algunas familias construyeron cabinas rústicas donde albergar a los visitantes que llegan a la comunidad, sin embargo, esto ha incrementado los problemas entre las personas que brindan este servicio y las personas que no reciben ningún beneficio del turismo debido a que no viven cerca de la playa.

Coll (2000) indica que existe un alto interés por parte de la comunidad y las organizaciones presentes para realizar actividades de protección y manejo adecuado de los recursos con el fin de desarrollar actividades económicas rentables basándose en la notable capacidad organizativa con la que cuenta la comunidad.

Cuadro 4. Evaluación de los factores externos de los recursos naturales presentes en el sector Gandoca, REGAMA, Limón, Costa Rica.

Recurso	Valor promedio	Incidencia	Vocación turística
Playa Gandoca	1,3	Media	Media
Playa Playita	1,6	Alta	Baja
Sendero Playita	1,6	Alta	Baja
Punta Mona	0,6	Baja	Alta
Boca del río Sixaola	1,7	Alta	Baja
Manglar	1,0	Media	Media
Sendero Cativera	1,6	Alta	Baja
Laguna de Gandoca	1,0	Media	Media
Middle Creek	1,9	Alta	Baja
Sendero Manzanillo	1,1	Media	Media
Playa Gandoca (Temporada de Tortugas)	1,0	Media	Media

Es fundamental entender que el espacio turístico corresponde a las zonas donde ocurren o bien, podrían ocurrir actividades turísticas (Boullón, 2006). En este trabajo se identificaron lugares donde llegan los turistas o voluntarios como la playa de anidación de tortugas. Así como aquellos espacios en los que potencialmente podrían llegar los usuarios, pero no los utilizan como el sendero de la cativera. Esto ocurre porque son inaccesibles para el tipo de visitante, la falta de senderos en condiciones aceptables así como la ausencia de comodidades mínimas.

Debemos tener certeza que el sector turístico es muy sensible respecto a sus relaciones con el ambiente, debido a que depende del consumo de los recursos naturales pero requiere que la calidad ambiental del entorno se mantenga con altos estándares que requiere condiciones claves para la competitividad (Salinas-Chávez y La O-Osorio, 2006).

Conclusiones y recomendaciones

Es una zona que cuenta con atractivos turísticos variados que se pueden incluir dentro de la oferta turística que sea manejada por los actores locales sigan actuando como los gestores turísticos apoyados por los funcionarios de esta área protegida.

Se tienen una importante cantidad de recursos turísticos que deben ser explotados. Esto reduce la presión sobre el principal recurso empleado en la actualidad, que son las tortugas marinas.

Se puede concluir que el objetivo principal de la interacción de los recursos presentes en el patrimonio nacional - cultural y el desarrollo de actividades turísticas sostenibles es la conservación del bien.

Es necesario reconocer la importancia de otros atractivos turísticos del REGAMA, como Punta Mona y Playita.

Fomentar una oferta turística más diversificada que reduzca la presión sobre el recurso tortugas marinas.

Desarrollar un plan de oferta turística que oriente la gestión en este sector del REGAMA.

Establecer los senderos y realizar los estudios de impacto ambiental pertinentes para evaluar la viabilidad ambiental.

Bibliografía

- Alvarado, S.M. (2007). *Propuesta de fortalecimiento del Producto Turístico Comunitarios en Costa de Pájaros, Puntarenas*. Tesis de Maestría Desarrollo Comunitario Sustentable. Heredia: Universidad Nacional.
- Alvarado, S.M. & Miranda, A.P. (2011). *Geografía turística Región Pacífico Central, Costa Rica*. San José: Universidad Estatal a Distancia.
- Báez, A. & Acuña, A. 2003. *Guía para las Mejores Prácticas del Ecoturismo*. Elaborado por Turismo & Conservación Consultores para PROARCA-CAPAS. Versión en inglés y español. San José.
- Boullón, R. 2006. Espacio turístico y desarrollo sustentable. Aportes y Transferencias. 10(2): 17-24. <http://www.redalyc.org/pdf/276/27610203.pdf>
- Coll, M. 2000. Evaluación ambiental del manglar de Gandoca, Limón, Costa Rica: Situación Actual y Propuesta para una Gestión Integrada. Proyecto Final de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Barcelona. 102 Facultad de Ciencias y Universidad de Costa Rica. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología. San José, Costa Rica. 196 p.
- Gastezzi, A. P. 2003. Contexto social, económico de la comunidad de Gandoca y mecanismos para el uso comunitarios de los recursos naturales de la laguna. Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca- Manzanillo. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Máster Scientiae. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 70 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). (1996). *Plan de Manejo del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo*. San José.
- OMT (Organización Mundial de Turismo). (2000). *Código Ético Mundial para el Turismo*. Madrid: OMT.
- ProAmbi. (1996). *Plan de Manejo para el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo. Vols. I, II, III. Proyecto de fortalecimiento institucional del SINAC*. San José: UCR-ProAmbi/MINAE.
- Quesada, R. (2000). *Elementos del Turismo*. San José: Editorial UNED.
- Salazar, C.R., Pinchansky, C.S. & Acevedo, C. (2002). *Casos Latinoamericanos de Cambio Climático y Desarrollo : Un colección de 19 casos sobre las posibilidades regionales ante el mercado mundial de servicios de reducción de emisiones atmosféricas y energía limpia*. San José, Costa Rica Copieco Press.
- Salinas-Chávez, E y La O-Osorio, J.A. 2006. *Turismo y sustentabilidad: de la teoría a la práctica en Cuba*. Cuadernos de Turismo, 17: 201-221. <http://revistas.um.es/turismo/article/view/17931/17291>
- Vargas, G. (2006). *Geografía de Costa Rica*. San José: Editorial UNED.
- Weitzner, V. & Fonseca, M. (2000). *Cahuita, del conflicto a la colaboración en cultivar la paz: Conflicto y Colaboración en el Manejo de Recursos Naturales*. Canadá: Ed. Daniel Bucles.
- Zamora-Trejos, P. (2006). *Ambientes Marino Costeros de Costa Rica. Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, Informe Técnico. Cap. III. Manglares*. V. Nielsen-Muñoz y M.A. Quesada-Alpízar (Eds.). San José: CIMAR-CI-TNC.

Cronograma 2016

	Vol. 29-1	Vol. 29-2	Vol. 29-3	Vol. 29-4	Vol. 30-1	Vol. 30-2	Vol. 30-3
Recepción de artículos	Mayo - julio 2015	Agosto - octubre 2015	Noviembre 2015 - enero 2016	Febrero - abril 2016	Mayo - julio 2016	Agosto - octubre 2016	Noviembre 2016 - enero 2017
Evaluación de expertos y aprobación	Agosto - setiembre 2015	Noviembre - diciembre 2015	Febrero - marzo 2016	Mayo - Junio 2016	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017
Revisión de estilo y corrección	Octubre 2015	Febrero 2016	Abril 2016	Julio 2016	Octubre 2016	Enero 2017	Abril 2017
Diagramación y correcciones finales	Enero 2016	Marzo 2016	Mayo - junio 2016	Agosto - setiembre 2016	Noviembre - diciembre 2016	Febrero - marzo 2017	Mayo - junio 2017
Publicación del número	Febrero 2016	Mayo 2016	Julio 2016	Octubre 2016	Febrero 2017	Abril 2017	Julio 2017

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

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

Nota importante

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

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

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

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

Important note

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

Ya a la venta

Orquídeas y orquideología en América Central

500 años de historia

Carlos Ossenbach Sauter

Adquiéralo también
en su versión electrónica



ebooks.tec.ac.cr

