

Contenido

Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la península de nicoya y los otros distritos de Guanacaste	
Differences water harness and longevity rates in the peninsula of nicoya of Guanacaste and the other districts	
<i>Damer A. Mora-Alvarado, Carlos F. Portuguez-Barquero, Nuria Alfaro-Herrera, Michael Hernández-Mirault</i>	3
Geovisión: una infraestructura abierta de datos espaciales	
Geovisión: una infraestructura abierta de datos espaciales	
<i>Carlos A. Campos-Vargas, Rodolfo Mora-Zamora, Andrés Segura-Castillo</i>	15
Multímetro como sistema de medición alternativo en las valoraciones potenciométricas	
Multimeter as Alternative Measurement System in the Potentiometric Titrations	
<i>José de Jesús Pérez-Saavedra, Sonia Rincón-Arce, Miguel Ángel Cisneros-Valladares</i>	25
Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano	
Synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles toward arsenic removal from drinking water	
<i>Ricardo Starbird-Pérez, Virginia Montero-Campos</i>	45
Evaluación de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos	
Water quality evaluation in Tigre and Rincón rivers of península de Osa in two different periods of time	
<i>Guillermo Calvo-Brenes, Jesús Mora-Molina</i>	55

Comparación interlaboratorial de cronómetros 2014

2014 Stopwatch Interlaborator y Comparison

Oscar Fallas-Cordero, Isabel Castro-Blanco, Harold Sánchez-Vargas..... 64

Educación ambiental para la conservación del recurso hídrico a partir del análisis estadístico de sus variables

Environmental education for water conservation through a statistical analysis of variables

Cristian Moreira-Segura, Freddy Araya-Rodríguez, Claudia Charpentier-Esquivel..... 74

Preferencias en la anidación de tortugas Carey (*Eretmochelys imbricata*) y baulas (*Dermochelys coriacea*) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica

Nesting preferences of hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and leatherback (*Dermochelys coriacea*) turtles in the National Wildlife Refuge Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica

Lilliana Piedra-Castro, Vanessa Morales-Cerdas..... 86

Metodología iterativa de desarrollo de *software* para microempresas

Iterative *software* development methodology for micro-enterprises

Luis-Alexander Calvo-Valverde..... 99

Metodología para el análisis y retiro de activos: transformadores de potencia

Methodology for the analysis and retirement of assets: Power transformers

Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez..... 116

Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica)

Introduction to Corrosion Phenomena: Types, Influencing Factors and Control for Material's Protection (Technical note)

José Alberto Salazar-Jiménez..... 127

Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la península de nicoya y los otros distritos de Guanacaste

Differences water harness and longevity rates in the peninsula of nicoya of Guanacaste and the otrher districts

Darner A. Mora-Alvarado¹, Carlos F. Portuguez-Barquero²,
Nuria Alfaro-Herrera³, Michael Hernández-Mirault⁴

Fecha de recepción: 29 de octubre del 2014
Fecha de aprobación: 18 de febrero del 2015

Mora-Alvarado, D; Portuguez-Barquero, C; Alfaro-Herrera, N; Hernández, Mirault, M. Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la península de nicoya y los otros distritos de Guanacaste. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 3-14.

1 Director del Laboratorio Nacional de Aguas-AyA (dmora@aya.go.cr)
2 Funcionario del Laboratorio Nacional de Aguas-AyA (fportuguez@aya.go.cr)
3 Funcionaria del Laboratorio Nacional de AguasA-A (nalfaro@aya.go.cr)
4 Funcionario del Laboratorio Nacional de Aguas-AyA (mhernandez@aya.go.cr)

Palabras clave

Agua dureza; longevidad; tasa; Zona Azul.

Resumen

Objetivo: analizar las características de dureza del agua para consumo humano y las tasas distritales de longevidad/10 000 habitantes, tanto en la península de Nicoya (“Zona Azul”) como en el resto de los distritos de la provincia de Guanacaste, con el propósito de determinar si los contenidos minerales del agua son o no un factor protector de calidad y larga vida.

Metodología: para cumplir con el objetivo de este estudio descriptivo-analítico-retrospectivo se aplicaron seis pasos. Primero se procesaron al menos 3.000 análisis físico-químicos de las aguas para consumo, provenientes de 425 acueductos de los 59 distritos de Guanacaste. El segundo paso fue calcular la dureza total (carbonato de calcio+carbonato de magnesio), por promedios en cada distrito. Tercero, con los datos del Censo 2011 se determinaron las tasas promedio de longevidad/10. 000 habitantes, para los segmentos de edad de 80-89, 90-99 y ≥ 100 años. En el cuarto paso, se realizó un análisis de frecuencias, ubicando las tasas promedio de longevidad en los intervalos de dureza total de 0-90, >90-180, >180-270 y >270, todos en mg/L; con estos datos se analizaron las tendencias entre la dureza total del agua y las tasas de longevidad por distritos. En el quinto paso se identificaron los 29 distritos de la denominada “Zona Azul”, ubicados en la Península de Nicoya, y se compararon los datos de Dureza Total con las tasas de longevidad promedio/10.000 habitantes de los restantes 30 distritos, usados como control. En el sexto paso se le aplicó la “Prueba t de Students” a las diferencias entre las longevidades en los 3 segmentos de edad, para verificar si existe o no diferencia estadística significativa al 90% ($p < 0,10$), 95% ($p < 0,05$) y 99% ($p < 0,01$) de confianza.

Resultados

Los promedios de dureza total de las aguas de consumo indican que en 21 distritos (35,6%) utilizan aguas “blandas”; 23 (39%), aguas “moderadamente duras”; 11 (18,6%), agua “duras” y 4 (5,8%) aguas “Muy Duras”. El análisis de tendencias entre los 4 intervalos de Dureza Total y las tasas promedio de longevidad, en los segmentos de 80-89 y 90-99 años, indica que a mayor dureza del agua mayor es la tasa de longevidad en los 59 distritos. Por otro lado, al comparar los promedios de durezas del agua y las tasas de longevidad de la “Zona Azul” y los distritos control, se comprueba que dichos promedios son marcadamente superiores en la “Zona Azul” en los tres segmentos de edad; no obstante, estas diferencias son estadísticamente significativas al 95% en el primero (80-89 años) y al 99% en el segundo (90-99 años).

Conclusiones

Los resultados comprueban una asociación positiva entre el consumo de aguas “duras” y las tasas de longevidad en personas >80 años, lo cual evidencia que el consumo prolongado de agua mineralizada es un factor de protección para la longevidad y la calidad de vida de los habitantes respectivos.

Recomendaciones

Verificar si el consumo de agua “dura” es un factor protector común de la longevidad de los habitantes en las restantes “Zonas Azules” del mundo, a saber Cerdeña (Italia), Okinawa (Japón), Loma Linda (California EUA) e Icaria (Grecia).

Keywords

Water hardness; longevity; rate; Blue Zone.

Abstract

Objective: to analyse drinking-water hardness characteristics and the longevity rates/10.000 inhabitants of the districts within the Nicoya Peninsula ('Blue Zone') and the rest of Guanacaste. The aim is to determine whether mineral content of water is a protective factor for quality and long life.

Methodology: six steps were followed in order to meet the objective of the present study. First step was to perform at least 3.000 physical-chemical analysis of drinking-water, from 425 aqueducts of the 59 districts of Guanacaste. Secondly, total hardness (calcium carbonate + magnesium carbonate) was calculated using average values for each district. Third, using data from Censo 2011 longevity average rates/10.000 inhabitants were determined for three different age ranges: 80-89, 90-99, and >100 years old. Fourth step was to perform a frequency analysis, placing the longevity average rates throughout the total hardness ranges: 0-90, >90-180, >180-270, and >270 mg/L. These data were used to analyse trends between total water hardness and longevity rates for each district. Fifth step consisted in the identification of the 29 districts of the 'Blue Zone', located within the Nicoya Peninsula. The total hardness values were compared to the longevity average rates/10.000 inhabitants values from the other 30 districts, used as control. Sixth step was to implement the 'Student's t-test' for the differences between longevity within the three age ranges, in order to verify whether there was a statistically significant difference with 90% ($p < 0,10$), 95% ($p < 0,05$), and 99% ($p < 0,01$) confidence.

Results

Total drinking-water hardness averages show that 21 districts (35,6%) use 'soft' water, 23 (39%) 'moderately hard' water, 11 (18,6%) 'hard' water, and 4 (5,8%) 'very hard' water. Trend analysis between the four total hardness ranges and the longevity average rates, within the age ranges of 80-89 and 90-99 years old, indicate there is a positive correlation between both factors along the 59 districts: the harder water is the higher longevity rate. On the other hand, water hardness averages appear to be markedly higher for the 'Blue Zone' than for the control districts throughout the three age ranges. However, the differences are statistically significant with 95% confidence in the first group (80-89 years old) and 90% in the second one (90-99 years old).

Conclusions

The results show there is a positive correlation between the consumption of 'hard' water and the longevity rates within people >80 years old. Drinking mineralised water for long periods of time is a protective factor for longevity and quality of life.

Recommendations

To verify if consumption of 'hard' water is a common protective factor for longevity within the remaining 'Blue Zone' throughout the world, i.e. Sardinia (Italy), Okinawa (Japan), Loma Linda (California, USA), and Icaria (Greece).

Introducción

La dureza del agua (DA) o calcárea —por contraposición al agua “Blanda”— es aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de calcio y magnesio (Miñara, 2002). Se expresa normalmente como la cantidad de carbonato de calcio, y se calcula genéricamente a partir de la suma de las concentraciones de carbonato de calcio y carbonato de magnesio, en mg/L, existentes en cada litro de agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el grado de DA se clasifica con base en el CaCO_3 , en 4 intervalos de 0-60 mg/L, y se define como “blanda”, entre 61-120 mg/L como “moderadamente dura”, de 121-180 mg/L se clasifica como “dura” y >180 mg/L como “muy Dura” (OMS, 2004). No obstante, y para el presente estudio, en vista de que generalmente la relación calcio/magnesio es de aproximadamente el doble, en Costa Rica se adoptó la alternativa de sumar ambos minerales para calcular la DA, por lo que se definieron los intervalos de 0-90 mg/L como “blanda”, >90-180 mg/L como “moderadamente dura”, >180-270 mg/L como “dura” y >270 mg/L como “muy dura” (Mora, Portuguesez, Alfaro, 2001).

La DA puede ser temporal (de carbonatos) o permanente (no carbonatos), generalmente de sulfatos y cloruros. Las durezas de carbonato de calcio y carbonato de magnesio son menos soluble en agua caliente que en agua fría; es decir, al hervir el agua, la DA puede disminuir al precipitarse; por el contrario, la dureza permanente de sales de sulfatos y cloruros de calcio o magnesio no disminuye al hervir el agua.

Otra diferencia importante y visible es que las aguas “duras” son incrustantes, formando sarros o depósitos de carbonato de calcio en las tuberías, calderas y otros tipos de envases que la contienen. Las aguas “Blandas” son corrosivas y desmineralizadas, induciendo a la lixiviación del material del envase que los contiene, como los tanques de almacenamiento y la red de distribución de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano (ACH) (Mora, 2009). Con respecto a la relación del grado de DA y la salud de los consumidores, la primera observación la realizó el sabio Hipócrates hace, aproximadamente, 2500 años en su documento ecológico titulado “*Aires, aguas y lugares*”.

En este documento Hipócrates indicaba a sus estudiantes de medicina que “...*Quien desee estudiar correctamente la medicina deberá proceder entre otros aspectos, de la siguiente manera... Deberán considerar con el mayor cuidado todas estas cosas y, también a donde tienen que ir los nativos para buscar el agua, si usan aguas pantanosas, suaves o que son duras y vienen de lugares altos y rocosos, o son salubres y ásperas también el suelo, si es llano y seco, o boscoso y de aguas abundantes...*” (OMS, 1948); es decir, según Hipócrates la salud de la población dependerá, entre otros factores, de las características físico-químicas del agua, en especial su “dureza” o “blandura”.

En el siglo XX algunos estudios han demostrado una débil relación inversa entre la DA y las enfermedades cardiovasculares en los varones, cuando el grado de dureza total del agua sobrepasa los 170 mg/L de carbonato de calcio (OMS, 1994) (Calvo, Sardiñas, 1992). No obstante, la OMS ha revisado las evidencias, y concluyó que los datos eran inadecuados para emitir una recomendación acerca de un nivel de DA (OMS, 2004). Otros estudios, realizados tanto a nivel de Costa Rica como en otras latitudes del mundo, indican que el exceso de DA ha sido vinculado como un factor de riesgo para padecer litiasis renal (Mora, Chamizo, 2007) (Medina-Escobeto, 2002). En el contexto mundial, y relacionado con la longevidad de las personas, se han identificado varios lugares o poblaciones denominadas “Zonas Azules”, en donde las personas viven más años y, en muchos casos, superan los 100 años de edad (Buettner, 2002) (Buettner, 2008). Estas regiones fueron estudiadas por Dan Buettner, de la National Geographic, señalando características específicas locales y prácticas culturales que

generan altas incidencias de casos de longevidad. Las 5 “Zonas Azules” identificadas hasta el momento son:

- Cerdeña, Italia (específicamente en la provincia de Nuoro y Ogliastra).
- La isla de Okinawa, Japón.
- Loma Linda, California.
- Icaria, en la Isla de Grecia cerca de la costa turca.
- La península de Nicoya, Costa Rica.

De acuerdo con varios investigadores, los principales factores que favorecen la longevidad de la población de estas “Zonas Azules” son la nutrición centrada en la ingesta de minerales, mediante el consumo de vegetales y aguas “duras” con altos contenidos de calcio y magnesio (Grainger, 2009) (Winfrey, 2009). Otros aspectos importantes son la filosofía de vida de los ciudadanos con poco “stress”, ejercicio natural en sus labores y la genética de los pobladores (Buettner, 2011). Específicamente en la península de Nicoya se cumple la mayoría de estos aspectos, sobre todo el consumo de agua mineralizada y de tortillas a base de maíz “curado” con carbonato de calcio. Estos factores en conjunto provocan mayor longevidad, fuerza, vitalidad y felicidad en los habitantes de la “Zona Azul” de la península de Nicoya (Laboratorio Nacional de Aguas, 2014).

Actualmente, se conoce que el calcio es responsable de funciones estructurales que afectan el esqueleto y los tejidos blandos, y las funciones de regulación como la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, incluyendo el movimiento del corazón, la secreción celular y la coagulación sanguínea. Más del 99% del calcio del organismo se encuentra en los huesos. Este catión divalente es el más abundante en el organismo humano, y constituye entre el 1,5% y 2,0% del peso corporal total (OMS/OPS, 1997).

El magnesio desempeña un papel esencial en muchas reacciones celulares básicas, por lo que su deficiencia puede acarrear varios trastornos electrolíticos. Un cuerpo humano de 70 kg de peso tiene alrededor de 20 a 28 g de magnesio. En el infarto de miocardio la administración intravenosa de magnesio reduce la frecuencia de arritmias graves y la mortalidad. Como se observa, este es un mineral esencial que se adquiere a través de la dieta, principalmente de los vegetales y del ACH. Por ejemplo en Costa Rica, según estudios elaborados en el Laboratorio Nacional de Aguas, este líquido aporta en promedio 4,6% a la dieta diaria del costarricense (Mora, 2000).

En razón de esto, y al papel que juegan el calcio y el magnesio en la fisiología humana (Ten, Yu suf, Collin, 1991) (Suárez, 2012), se realiza el presente estudio, con el objetivo de analizar las características de DA y las tasas distritales de longevidad de los habitantes en la “Zona Azul” de la península de Nicoya y el resto de los distritos de la provincia de Guanacaste, con el propósito de determinar si los contenidos de minerales del agua son, o no, un factor protector de calidad y larga vida de la región Chorotega.

Materiales y métodos

Para cumplir con el objetivo de este estudio ecológico-descriptivo-retrospectivo-analítico se aplicaron los siguientes pasos:

Promedios de dureza total, dureza de calcio y dureza de magnesio en las aguas por distritos

Los promedios de dureza total del ACH, en cada uno de los 59 distritos de Guanacaste, se calcularon con al menos 3000 análisis fisicoquímicos, provenientes de las aguas de 425

acueductos de los 11 cantones de la región Chorotega, en el periodo del 2007 al 2013. Dichos datos se obtuvieron de los datos históricos del Laboratorio Nacional de Aguas.

Clasificación de la dureza total del agua

Como se indicó en la introducción, la clasificación de DA se realizó mediante los siguientes 4 intervalos:

Agua “blanda” de 0–90 mg/L.

Agua “moderadamente dura” de >90–180 mg/L.

Agua “dura” de >180–270 mg/L.

Agua “muy dura” >270 mg/L.

Datos sobre las tasas de longevidad por distritos

Fundamentados en los resultados del Censo 2011 (INEC, 2012), se determinó el número de personas por distritos de Guanacaste con edades entre 80-89, 90-99 y ≥ 100 años. Con estos datos, se calcularon las tasas de longevidad/10.000 habitantes para cada segmento poblacional, para luego ubicar estos resultados promedio de longevidad en los cuatro intervalos de dureza total.

Análisis de tendencias en los 59 distritos

Con los intervalos de dureza total y las tasas promedio de longevidad/10.000 habitantes se elaboró un análisis de frecuencias, con el propósito de identificar la tendencia mediante un cuadro y su respectivo gráfico, valorando así la hipótesis de que “A mayor DA mayores son las tasas de longevidad/10 000 habitantes, distribuidos en los segmentos de 80-89, 90-99 y ≥ 100 años”.

Comparación de dureza total y las tasas promedio de longevidad entre los distritos de la provincia de Nicoya y el resto de los distritos de Guanacaste

Los 29 distritos ubicados en los cantones de Nicoya, Hojancha, Santa Cruz, Carrillo y Nandayure (Ávalos, Bran, 2013), han sido clasificados como una de las 5 “Zonas Azules” del mundo por el número de personas longevas, las cuales pueden vivir más de 100 años con calidad de vida. Estos se compararon con los otros 30 distritos ubicados en los cantones de Liberia, Cañas, Bagaces, Tilarán, La Cruz y Abangares (no pertenecientes a la “Zona Azul”), con el objetivo de determinar si hay diferencias estadística significativa, en los promedios de dureza total y las tasas promedios de longevidad/10 000 habitantes, en los 3 segmentos de edades.

Análisis estadísticos

Para valorar si las diferencias entre la Dureza Total y las respectivas tasas de longevidad presentan diferencia estadística significativa, entre los intervalos de la “Zona Azul” y los distritos control en los 3 segmentos de edad, se aplicó la “Pruebas t de Student” al 90%, 95% y 99% de confianza (es.wikipedia.org/wiki/Prueba_t_de_Student, 2014).

Estos resultados nos permitirán plantear la hipótesis de que las “Concentraciones de Dureza Total en las ACH son un factor importante para mantener las longevidades promedio por distritos en Guanacaste”.

Cuadro 1. Promedio de dureza total, dureza de calcio y Dureza de magnesio y las tasas de longevidad/10 000 habitantes en los 59 distritos de Guanacaste

Distritos	Cantones	Dureza Total mg/L	Dureza de Calcio mg/L	Dureza de Magnesio mg/L	Relación Mg/Ca	Relación Ca/Mg	Tasas de población por edades ≥ 80 años		
							80-89	90-99	> 100
Liberia	Liberia	30,00	19,33	10,67	0,55	1,81	113,52	20,61	2,06
Cañas Dulces	Liberia	72,00	46,00	26,00	0,57	1,77	173,37	34,06	0,00
Mayorga	Liberia	262,00	169,00	93,00	0,55	1,82	118,32	37,52	0,00
Nacascolo	Liberia	69,00	39,00	30,00	0,77	1,30	88,93	0,00	0,00
Curubandé	Liberia	77,00	52,50	24,50	0,47	2,14	102,89	31,66	0,00
Nicoya	Nicoya	153,00	95,30	57,70	0,61	1,65	193,69	42,69	3,22
Mansión	Nicoya	250,67	233,34	17,33	0,07	13,46	271,12	43,73	5,25
San Antonio	Nicoya	197,19	147,32	49,87	0,34	2,95	316,17	84,31	1,51
Quebrada Honda	Nicoya	259,56	233,00	26,56	0,11	8,77	352,75	75,81	0,00
Sámara	Nicoya	178,00	127,00	51,00	0,40	2,49	119,59	22,78	2,85
Nosara	Nicoya	167,17	117,83	49,34	0,42	2,39	73,29	22,39	0,00
Belén-Nosarita	Nicoya	107,17	75,28	31,89	0,42	2,36	227,10	40,95	0,00
Santa Cruz	Santa Cruz	200,81	122,23	78,58	0,64	1,56	187,52	45,95	1,39
Bolsón	Santa Cruz	377,50	275,00	102,50	0,37	2,68	319,61	11,39	0,00
Veintisiete de Abril	Santa Cruz	178,67	109,33	69,34	0,63	1,58	209,99	34,05	2,84
Tempate	Santa Cruz	199,08	116,44	82,64	0,71	1,41	119,01	39,08	0,00
Cartagena	Santa Cruz	218,97	135,58	83,39	0,62	1,63	175,21	44,46	5,23
Guajiniquíl	Santa Cruz	143,25	80,50	62,75	0,78	1,28	117,38	22,36	0,00
Diriá	Santa Cruz	169,30	62,10	107,20	1,73	0,58	279,13	48,66	0,00
Cabo Velas	Santa Cruz	168,40	92,80	75,60	0,81	1,23	121,95	35,69	0,00
Tamarindo	Santa Cruz	158,00	64,00	94,00	1,47	0,68	105,10	34,51	0,00
Bagaces	Bagaces	41,28	26,14	15,14	0,58	1,73	115,63	29,92	3,23
La Fortuna	Bagaces	120,00	28,75	91,25	3,17	0,32	181,42	29,03	0,00
Mogote	Bagaces	58,13	40,13	18,00	0,45	2,23	114,77	20,60	0,00
Río Naranjo	Bagaces	49,67	30,33	19,34	0,64	1,57	197,04	0,00	0,00
Filadelfia	Carrillo	193,27	130,13	63,14	0,49	2,06	149,63	35,21	2,51
Palmira	Carrillo	193,31	122,14	71,17	0,58	1,72	131,09	44,31	0,00
Sardinal	Carrillo	199,50	119,50	80,00	0,67	1,49	126,74	24,81	2,01
Belén	Carrillo	220,50	126,67	93,83	0,74	1,35	147,04	38,46	1,13
Cañas	Cañas	89,60	50,99	38,61	0,76	1,32	121,54	23,54	1,92
Palmira	Cañas	103,58	51,38	52,20	1,02	0,98	111,34	60,73	0,00
San Miguel	Cañas	105,17	68,50	36,67	0,54	1,87	133,82	42,58	0,00
Bebedero	Cañas	84,50	52,00	32,50	0,63	1,60	86,37	9,60	0,00
Pozzal	Cañas	301,00	285,00	16,00	0,06	17,81	179,37	14,95	0,00
Las Juntas	Abangares	87,28	65,56	21,72	0,33	3,02	149,76	34,80	0,00
Sierra	Abangares	50,71	33,88	16,83	0,50	2,01	136,11	17,01	0,00
San Juan	Abangares	83,40	61,20	22,20	0,36	2,76	189,27	12,62	0,00
Colorado	Abangares	287,53	200,61	86,92	0,43	2,31	106,04	34,62	2,16
Tilarán	Tilarán	88,00	48,00	40,00	0,63	1,20	163,65	38,03	3,46
Quebrada Grande	Tilarán	52,01	32,23	19,78	0,61	1,63	170,37	40,74	0,00
Tronadora	Tilarán	35,50	21,49	14,01	0,65	1,53	189,42	11,14	0,00
Santa Rosa	Tilarán	35,00	18,00	17,00	0,94	1,06	195,37	77,12	0,00
Líbano	Tilarán	78,45	55,73	22,72	0,41	2,45	323,70	23,12	0,00
Tierras Morenas	Tilarán	31,10	19,14	11,96	0,62	1,60	213,55	36,82	0,00
Arenal	Tilarán	49,13	34,30	14,83	0,43	2,31	108,70	13,04	0,00
Carmona	Nandayure	175,25	107,50	67,75	0,63	1,59	205,15	64,36	4,02
Santa Rita	Nandayure	173,86	106,57	67,29	0,63	1,58	179,81	82,99	6,92
Zapotal	Nandayure	102,33	55,67	46,66	0,84	1,19	139,92	74,07	0,00
San Pablo	Nandayure	445,50	230,67	214,83	0,93	1,07	167,65	31,72	0,00
Porvenir	Nandayure	115,00	63,00	52,00	0,83	1,21	175,44	53,98	0,00
Bejuco	Nandayure	143,69	93,00	50,69	0,55	1,83	145,41	33,05	3,30
La Cruz	La Cruz	128,97	101,65	27,32	0,27	3,72	109,84	26,10	3,26
Santa Cecilia	La Cruz	36,00	24,00	12,00	0,50	2,00	123,04	30,36	2,85
La Garita	La Cruz	123,25	75,50	47,75	0,63	1,58	118,48	35,55	17,77
Santa Elena	La Cruz	138,50	121,17	17,33	0,14	6,99	107,84	39,22	0,00
Hojancha	Hojancha	145,45	82,84	62,61	0,76	1,32	188,46	47,11	4,71
Monte Romo	Hojancha	55,89	32,11	23,78	0,74	1,35	149,03	14,90	0,00
Puente Carrillo	Hojancha	123,25	73,42	49,83	0,68	1,47	158,83	19,06	6,35
Huacas	Hojancha	130,00	75,13	54,87	0,73	1,37	127,30	56,58	0,00

FUENTE: Laboratorio Nacional de Aguas.

Análisis de aguas

Los análisis físico-químicos de las aguas para consumo humano se realizaron siguiendo las directrices del "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water" (APHS/AWWA/WEF, 2012).

Resultados

En el cuadro 1 se presentan los datos promedios de los tres tipos de DA, y los promedios de las tasas de longevidad/10 000 habitantes en cada uno de los 59 distritos guanacastecos.

Dureza total y tasas promedio de longevidad

En el cuadro 2 se presentan, por intervalos, los promedios de dureza total promedio y las respectivas tasas promedio de longevidad/10 000 en los 3 segmentos por edades, para cada distrito en Guanacaste.

Dureza total promedio en los distritos de la "Zona Azul" (península de Nicoya), longevidad y su comparación con los otros distritos control de la provincia de Guanacaste

En el cuadro 3 se resumen, en forma comparativa, las variables de dureza total, dureza de calcio y dureza de magnesio y las tasas de longevidad/10 000 habitantes en los 3 segmentos de edad, entre los 29 distritos de la "Zona Azul" y los 30 distritos control.

Cuadro 2. Intervalos de dureza total promedio y las respectivas tasas promedio de longevidad/10.000 habitantes en personas >80 años de edad por distritos en Guanacaste

Intervalos de dureza Total (mg/L)	Longevidad: tasas por 10 000 habitantes		
	80 a 89 años	90 a 99 años	≥ 100 años
0 - 90	153,62	24,75	0,64
>90 -180	153,49	42,11	2,40
>180 - 270	190,42	46,70	1,73
>270	193,17	23,17	0,54

Fuente: Elaboración de los autores

Cuadro 3. La "Zona Azul" y los distritos control: dureza total, dureza de calcio y dureza de magnesio, sus proporciones y las tasas promedio de Longevidad en provincias mayor igual a 80 años.

Distritos de la "Zona Azul"	Número	Dureza Total (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	MgCO ₃ (mg/L)	Ca/Mg	Mg/Ca	Longevidad/10.000		
							80-89	90-99	≥ 100 años
	29	184,78	116,85	67,94	2,24	0,66	179,34	42,31	1,77
Distritos Control	30	95,44	64,53	30,91	2,57	0,63	146,33	28,45	1,27
Diferencias		89,34*	52,32*	37,03*	-0,33	0,03	33,01**	13,86*	0,50

Fuente: Elaborado por los autores

*Diferencia estadística al 99% de confianza.

** Diferencia estadística al 95% de confianza

En el figura 1, se visualizan los datos del cuadro 2.

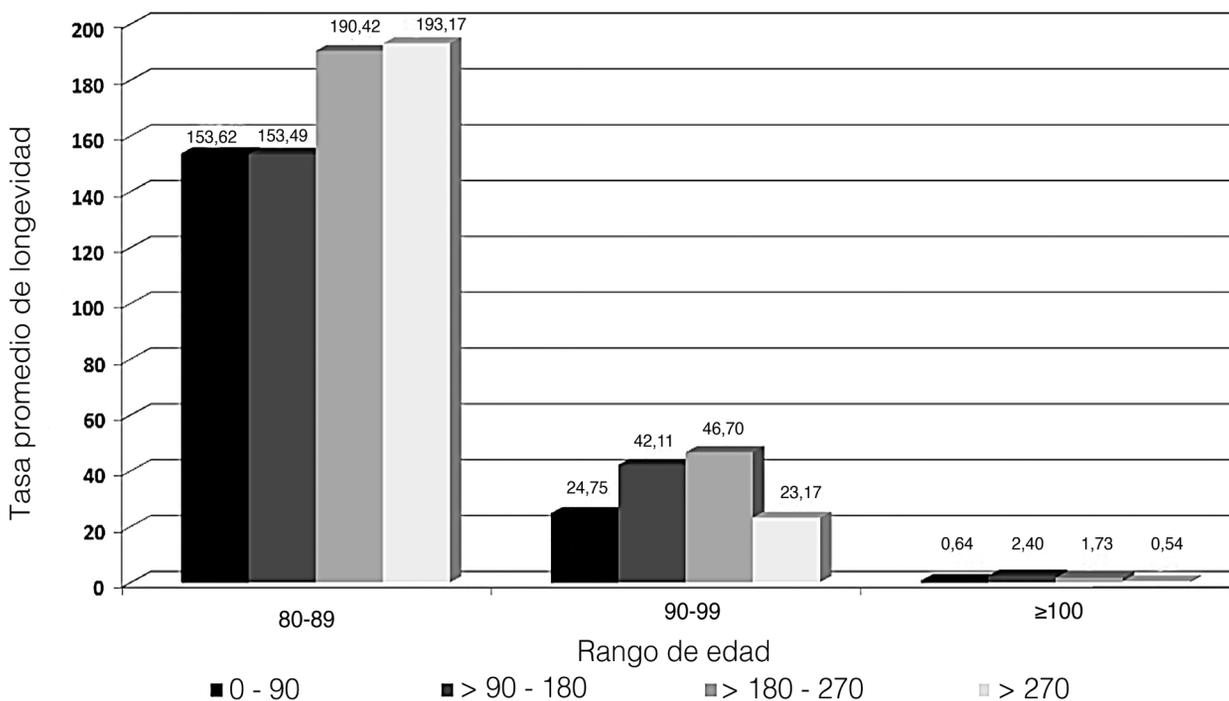


Figura 1. Distritos de Guanacaste: dureza total por intervalos y las tasas promedio de longevidad en personas de 80 a 89, 90 a 99 y ≥100 años. Fuente: Elaborado por los autores

En el figura 2, se visualizan los datos comparativos del cuadro 3.

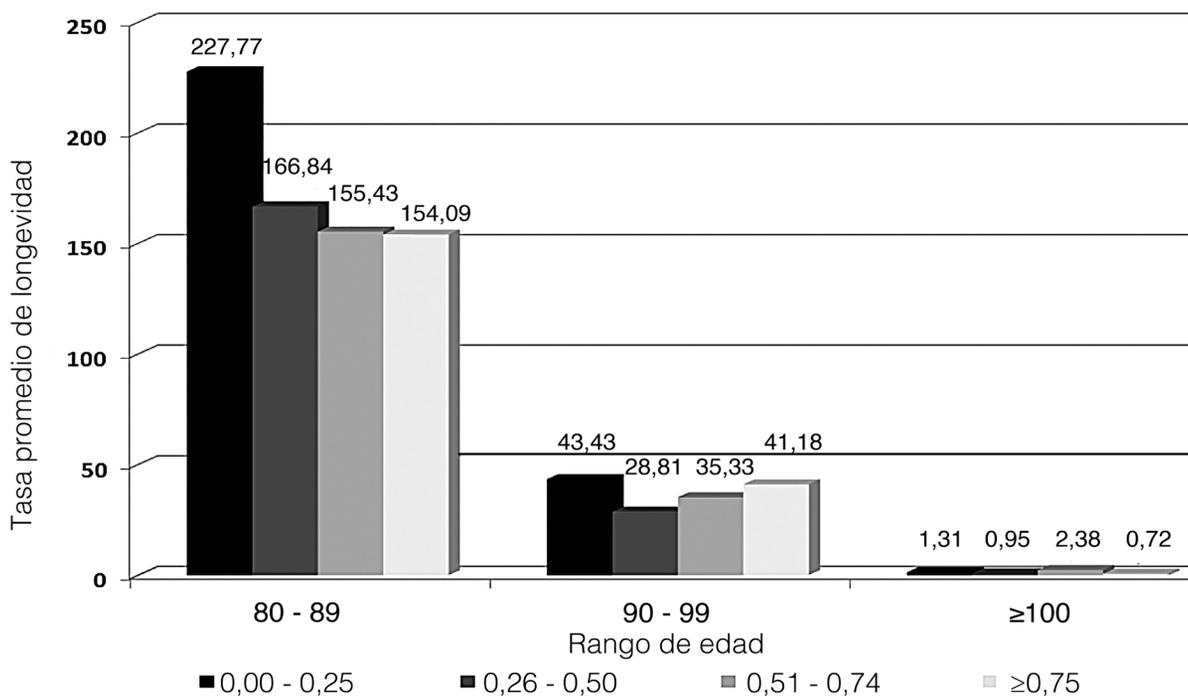


Figura 2. “Zonas Azules” y distritos control: longevidad en tasas/10 000 habitantes, según dureza total promedio en el agua de consumo. Fuente: Elaborado por los autores

Resultados del análisis estadístico

En el cuadro 4 se presentan los valores de “Probabilidad” (p) de la aplicación de la “Prueba t de Student”, entre las diferencias de las tasas promedio de longevidad/10 000 habitantes, en los diferentes segmentos de edad, y los intervalos de dureza total. Igual, se incluyen las diferencias de las tasas de longevidad entre los distritos de la Península de Nicoya (“Zona Azul”) y los otros 30 distritos control del resto de Guanacaste.

Cuadro 4. Datos de probabilidad (Resultados de la “Prueba t de Student” al 90%, 95% y 99% de Confianza)

CUADRO 4. DATOS DE PROBABILIDAD (RESULTADOS DE LA "Prueba t de Student" al 90%, 95% y 99% de Confianza)															
Intervalo	Dureza Total			Dureza de CaCO3			Dureza de MgCO3			Zonas Azules					
	80-89 años	90-99 años	≥100 años	80-89 años	90-99 años	≥100 años	80-89 años	90-99 años	≥100 años	Dureza total	Dureza CaCO3	Dureza MgCO3	80-89 años	90-99 años	≥100 años
Uno/dos	0,993	0,002*	0,057***	0,525	0,018**	0,064***	0,395	0,055***	0,140	0,000021*	0,001*	0,000017*	0,039**	0,004*	0,499
Uno/tres	0,208	0,003*	0,113	0,566	0,021**	0,172	0,461	0,023**	0,024**						
Uno/cuatro	0,452	0,828	0,870	0,083***	0,408	0,586	0,574	0,424	0,120						
Dos/tres	0,198	0,481	0,517	0,858	0,479	0,423	0,804	0,823	0,952						
Dos/cuatro	0,449	0,036**	0,078***	0,115	0,744	0,332	0,298	0,236	0,054***						
Tres/cuatro	0,960	0,017**	0,166	0,150	0,477	0,718	0,338	0,140	0,03**						

Fuente: Elaboración de los autores

*Diferencia significativa al 99% de confianza. ** Diferencia significativa al 95% de confianza. ***Diferencia significativa al 90% de confianza.

Nota 1: Las diferencias entre la “Zonas Azul” y los distritos control, en los tres tipos de durezas (Total, calcio y magnesio), son significativas estadísticamente al 99% de confianza con valores “p” de 0,000021, 0,001 y 0,000017, respectivamente.

Análisis de resultados

Distribución de los distritos de Guanacaste según la clasificación de dureza total

En el cuadro 1 se resume la dureza total, la dureza de calcio y la dureza del magnesio en las ACH, por promedio distrital.

La distribución de los 59 distritos indica que 21 (35,6%) se ubican en el intervalo de 0-90 mg/L (“Aguas Blandas”); 23 distritos (39%) se clasifican como aguas “moderadamente duras” (>90-180); 11 distritos (18,6%) consumo aguas “duras” (>180-270 mg/L); y 4 distritos (5,8%) aguas “muy duras” (>270 mg/L). En resumen, de la totalidad de los 59 distritos de los 11 cantones guanacastecos, en 23 se consumen aguas blandas (35,6%) y 36 (64,4%) se utilizan aguas de “moderadamente dura” a “muy dura”.

Dureza Total y tasas promedio de longevidad

Los datos del cuadro 2 y la tendencia observada en el gráfico 1, indican que las tasas de longevidad/10.000 habitantes son mayores a partir del intervalo de Dureza Total de >180-270 mg/L (aguas clasificadas como “duras”). En el segmento 2, de 90 a 99 años, la diferencia de las tasas de longevidad se da a partir del intervalo >90-180 mg/L de Dureza Total, es decir agua “Moderadamente Dura”. En el caso del segmento 3 (≥100 años), la diferencia de las tasas de longevidad/10.000 se presenta en el intervalo de Dureza Total >90-180 mg/L. Estas diferencias son significativas estadísticamente al 95% de confianza en el segmento de 90 a 99 años.

Distritos de península de Nicoya (“Zona Azul”) y los distritos control

Los resultados promedio de los 3 tipos de dureza (Dureza Total, Dureza de calcio y Dureza de magnesio), de los 29 distritos de la “Zona Azul”, son marcadamente superiores con respecto a los promedios de los 30 distritos usados como control. En concordancia con estos datos, las diferencias de las tasas promedio en los 3 segmentos de edad también son mayores en los distritos de la “Zona Azul” con respecto a los distritos control. Lo importante de estas diferencias es que fueron significativas al 95% de confianza en el segmento de edad 80-89 años y al 99% en el de 90-99 años. Por otro lado, en la “Zona Azul” los promedios de dureza total (184,79 mg/L), clasifican el agua como “dura”, mientras que en los 30 distritos control fue de 95,44 mg/L para una clasificación de “moderadamente dura”. Con respecto a la Dureza de calcio, en los distritos de la “Zona Azul” fue de 116,85 mg/L (“moderadamente dura”) y en los distritos control de 64,53 mg/L, también agua (“moderadamente dura”). En el caso de la Dureza de magnesio, en la “Zona Azul”, el valor promedio fue de 67,94 mg/L; es decir, superior al intervalo de agua “blanda” (0-30 mg/L).

Por último, no se observaron diferencias en las relaciones o proporciones del carbonato de calcio y carbonato de magnesio, y viceversa, en ambos grupos de distritos. Sin embargo, se observa que la relación carbonato de calcio y carbonato de magnesio es de 2,24 y 2,57 veces en ambos intervalos. Lo mismo sucede a la inversa, en donde los 2 datos promedios son muy semejantes, 0,66 mg/L (“Zona Azul”) y 0,63 mg/L (distritos control).

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se observa una asociación positiva entre los contenidos de Dureza Total del ACH y las tasas promedio de longevidad/10 000 habitantes, sobre todo en el agua clasificada como “dura” (>180-270 mg/L) en el segmento de 80 a 89 años. En el segmento de longevidad de 90 a 99 años y de ≥ 100 años, el “salto” se observa con el consumo de agua “moderadamente dura”.

No se observa, en el segmento de ≥ 100 años, un incremento en las tasas promedio de longevidad en el intervalo mayor a 270 mg/L; es decir, en el agua clasificada como “muy dura”.

En la comparación de los 29 distritos de la “Zonas Azules” se aprecia diferencia, con significancia estadística al 99% de confianza, en todos los tipos de dureza y las tasas de longevidad promedio/10 000 habitantes, con respecto a los 30 distritos usados como control ubicados en los restantes cantones de Guanacaste.

Los resultados obtenidos, tanto en la tendencia de los intervalos de Dureza Total y las tasas promedio de longevidad/10 000 habitantes, como en la comparación de la “Zona Azul” y los 30 distritos control, permite sugerir que la DA es factor protector en la longevidad de los habitantes de Guanacaste, específicamente en la Península de Nicoya.

Recomendaciones

El análisis obtenido en el estudio de tendencias y la comparación entre los datos de dureza del agua y las tasas promedio de longevidad, sugieren que el agua clasificada como “moderadamente dura” y “dura” es la recomendable para el consumo de los minerales de calcio, magnesio y otros, para optar por una larga y buena vida en los seres humanos residentes en las zonas respectivas.

Se recomienda verificar si el consumo de agua moderadamente dura y dura son un factor protector común en la calidad y longevidad de los habitantes, en las otras zonas azules del mundo: Cerdeña (Italia), Okinawa (Japón), Loma Linda (California, EUA) e Icaria (Grecia).

Bibliografía

- APHS/AWWA/WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 22nd Edition; Washington D.C. 2012.
- Ávalos, A.; Bran, C. (2013). *Robles de Cien Años y Más*. San José. Revista Dominical. La Unión. Domingo 6 de enero.
- Buettner, D. *Bebidas y tisanas que alargan la Vida*. En línea: <http://www.planetase libros. com>.
- Buettner, D. (2008). *The Blue Zones: Lesson for living longer From the People Whove Lived the Longest*. National Geograpicpágs. 1-277.
- Buettner, D. (2011). *Thrive Finding Happiness the Blue Zonas Way*. National Geografic Society. págs. 1-283.
- Calvo, M.; Sardiñas, O. (1992). *Evaluación de las concentraciones de oligoelementos y dureza total del agua de consumo humano y su posible relación con la mortalidad por infarto de miocardio en Agua y Salud*. Instituto Nacional de Higiene. Epidemiología y Microbiología. Cuba págs. 115 a 129.
- Documento en línea. (2014). *Sección "Cálculos" del documento "Prueba t de Student"*. Dirección: es.wikipedia.org/wiki/Prueba_t_de_Student. Consultado el 21 de octubre.
- Grainger. L. (2009). *6 secretos para vivir 100 años. Selecciones*. En línea cr. Selecciones.com/.../content_imprimir.p
- Instituto Nacional de Censos y Estadísticas. (2012). *Censo 2011*. INEC. San José. Costa Rica.
- Laboratorio Nacional de Agua. (2014). *Análisis de Dureza total, Dureza de calcio y Dureza de magnesio en las aguas para consumo humano*. La Unión. LNA-AyA; 2007-2013.
- Medina-Escobeto, M. y Colaboradores. (2002). *Prevalencia y factores de riesgo en Yucatán, México, para Litiasis Urinaria*. México D.F. Salud Pública de México. Vol. 44. N.º 6. pág. 541-545.
- Miñara, V. (2002). *Calcio en el agua de bebida en la infancia: ¿molesto o necesario?* Madrid. Acta Pediátrica Española. Vol. 60, N.º 2.
- Mora, D. (2009). *Agua*. San José, Costa Rica. UNED.
- Mora, D., Chamizo, H. (2007). *Estudio Exploratorio-Ecológico sobre las concentraciones de sales de calcio en el Agua para Consumo Humano y la Litiasis Renal en Costa Rica*. San José. Revista Costarricense de Salud Pública. Año 16. N.º31. Edition 31. págs.13-18.
- Mora, D. y colaboradores. (2000). *Aportes del Agua de Bebida a los Requerimientos de magnesio de la Población Costarricense*. San José. Revista Costarricense de Salud Pública. Año 9. Número 17. págs.45-60.
- Mora, D.; Portuguez, F.; Alfaro, N. (2001). *Relación entre la Dureza del Agua y las Cardiopatías Isquémicas en Costa Rica*. Laboratorio Nacional de Agua. Cartago, La Unión, Tres Ríos. OMS. Extracto de Hipócrates. (1948). *Aires, Aguas y Lugares*. WHS. Joves (ed). Cambridge. Harvard University Press.
- OMS/OPS. (1997). *Conocimientos Actuales sobre Nutrición*. Washington, D.C. Publicación Científica N.º 565, Séptima edición.
- Suárez, F. (2012). *El Poder del Metabolismo*. San José. Masterlitho S.A.
- Ten KK, Yu suf, Collin R, et al. (1991). *Effects of intravenous magnesium in suspected caute myocondial infaretion; over-view of randomized trial*. Brmed: 303. 1499-1503.
- Winfrey, O. (2004). *Zonas Azules: Nicoya "Secretos de las Zonas Azules"*. En línea [http:// ocascante. Blogspot. com/2009/02.zonas-azulesnicoya.html](http://ocascante.blogspot.com/2009/02.zonas-azulesnicoya.html).23/09/2004.
- World Heath Organization. (2004). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Geneva; Third Edition; Volume 1. Recommendations.
- World. Health Organization. (1994). *Guidelines for drinking-Water Quality*. Geneva Second Edition-Volume 2-Health criteria and other supporting Information.Geneva.
- Wold Health Organization (1994). *Guidelines for drinking-Water Quality*. Volume 1. Recommendation. Third Edition.

Geovisión: una infraestructura abierta de datos espaciales

Geovisión: una infraestructura abierta de datos espaciales

Carlos A. Campos-Vargas¹, Rodolfo Mora-Zamora²,
Andrés Segura-Castillo³

Fecha de recepción: 31 de octubre del 2014

Fecha de aprobación: 6 de marzo del 2015

Campos-Vargas, C; Mora-Zamora, R; Segura-Castillo, A.
Geovisión: una infraestructura abierta de datos espaciales.
Tecnología en Marcha. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág
15-24.

1 Investigador. Geovisión. Vicerrectoría de Investigación. Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. Correo electrónico: ccamposv@uned.ac.cr

2 Investigador y Consultor independiente. Correo electrónico: rjmoraza@gmail.com

3 Investigador. Laboratorio de Investigación e Innovación Tecnológica. Vicerrectoría de Investigación. Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. Correo electrónico: asegurac@uned.ac.cr

Palabras Clave

Infraestructura de datos espaciales; IDE; geoinformación; datos abiertos.

Resumen

La Universidad Estatal a Distancia (UNED) ha buscado recientemente incorporar el uso de información georeferenciada como una buena práctica en su quehacer investigativo. Para ello se dió a la tarea de implementar una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) Abierta denominada Geovisión. Se presenta el proceso y los resultados de su desarrollo, desde la conformación inicial de una red de suministradores y usuarios de geoinformación, hasta la habilitación y publicación de servicios de geoinformación en línea. Geovisión se concibe como una IDE abierta tanto en términos de participación, ya que no es necesario pertenecer a la UNED para acceder a la IDE, como en el uso de plataformas de *software* y protocolos abiertos que facilitan las herramientas necesarias para publicar y compartir información espacial en un formato amigable para usuarios sin experiencia a nivel técnico, así como en formatos más complejos para usuarios especializados.

Keywords

Spatial data infrastructure; SDI; geoinformation; Open data.

Abstract

Costa Rican State University of Distance Education (UNED) has recently assumed the use of geospatial information as a good practice for its research activities. Therefore the university implemented an Open Spatial Data Infrastructure (Open SDI) known as Geovision. Its development process and corresponding results are presented, from the initial user group developing stages to the current publication of geospatial web services. Geovision conceives itself as an open SDI in two specific aspects, first the service is available to users without regard of the institutions they belong to, and second, for its use of open source software and open protocols. This SDI enables all the tools needed for publishing and sharing geospatial information in formats suited to both experienced and novel users.

Introducción

Actualmente, la disponibilidad, accesibilidad y el intercambio de información georeferenciada son requerimientos que cobran paulatinamente mayor importancia para una sociedad interesada en incorporar este tipo de información como apoyo fundamental en los procesos de planificación y toma de decisiones, tanto a nivel local como regional e inclusive global (Rix et al., 2011). Esta utilización de conjuntos de datos espaciales conlleva múltiples abordajes para el diseño y construcción de herramientas tecnológicas dirigidas hacia este fin (Rajabifard & Williamson, 2001); sin embargo, cualquiera que sea el punto de partida, es primordial que los datos georeferenciados se brinden de forma precisa, sean mantenidos adecuadamente y garanticen su veracidad (Williamson, Rajabifard, & Binns, 2006).

Ante dicha coyuntura surge la noción de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) como alternativa para suplir información georeferenciada y, a la vez, cumplir con las demandas mencionadas anteriormente en relación a su integridad y validez. Una IDE consiste en una plataforma tecnológica distribuida que permite a los proveedores publicar sus datos

geoespaciales y a los usuarios acceder a dicha información. Su principal objetivo es facilitar la interacción entre los actores interesados con el fin de promover análisis, divulgación, servicios, entre otros, que aporten novedades al conocimiento en la materia. Cabe resaltar que las IDEs incluyen un conjunto de políticas, estándares y buenas prácticas que guían su uso (Rix et al., 2011). Es decir, la plataforma no funciona aislada de los usuarios o de la comunidad que participa en las dinámicas asociadas con el uso de información georeferenciada.

Si bien el concepto de IDE aún se encuentra en evolución, ha cobrado mucha vigencia en países europeos y se le considera un elemento esencial del *e-Government* o gobierno digital, particularmente para el apoyo en la toma de decisiones relacionadas con actividades económicas, ambientales y sociales (Williamson, Rajabifard, & Binns, 2006). Un ejemplo relevante en este sentido es el proyecto eSDI-Net+, que promueve esfuerzos de coordinación y cooperación entre 200 IDEs de Europa. El avance de esta iniciativa ha logrado que los países participantes impulsen sus iniciativas de geoinformación bajo un marco común de estándares y a la vez con una metodología consensuada para el desarrollo y evaluación de IDEs (Rix et al., 2011).

Cabe mencionar que en el contexto latinoamericano también se han desarrollado IDEs recientemente. Entre ellas, se encuentran:

- La Infraestructura Nacional de Datos Espaciales (INDE) en Brasil, se oficializó mediante decreto presidencial en el 2008 (CINDE, 2010).
- La Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile) (Bienes, 2010), respaldada por la Política Nacional de Información Geoespacial (Universidad de Chile, 2010; Gobierno de Chile, 2014).
- La Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) bajo el respaldo de la Consolidación de la Política Nacional de Información Geográfica y la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE, 2014).
- El proyecto IDE U Cuenca de Ecuador, que nació de la colaboración de la Universidad de Cuenca y la Universidad Politécnica de Cataluña, y con el valioso aporte técnico de la IDE de Cataluña, hasta llegar a la IDE Red CEDIA (Morochó & Morales, 2012).

Es importante resaltar que en Costa Rica existen actualmente esfuerzos para constituir una IDE de carácter nacional. El decreto N.º 37773-JP-H-MINAE-MICITT, publicado en La Gaceta N.º 134 del 12 de julio del 2013, instituye oficialmente al Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) como el ente oficial encargado de propiciar la definición, operacionalización y uso de una infraestructura de datos geoespaciales costarricense. Dicha iniciativa se encuentra en curso y se espera su pronto lanzamiento público.

Asimismo, la Universidad Estatal a Distancia (UNED) de Costa Rica ha incursionado en esta temática mediante el desarrollo de una IDE abierta denominada Geovisión (<http://geovision.uned.ac.cr>), la cual surge por parte de la Vicerrectoría de Investigación de esta institución con el propósito de generar una plataforma capaz de gestionar homogéneamente los productos susceptibles de georeferenciación de sus investigaciones y, a la vez, brindar desde la UNED servicios de geoinformación a nivel nacional e internacional. Aunque es natural para la UNED producir geodatos dada su distribución y cobertura en el país, previo a esta IDE no había en la universidad un espacio donde almacenar, publicar, compartir y analizar colaborativamente dicha información.

Geovisión es una IDE abierta tanto en términos de participación, ya que entes internos y externos de la Universidad pueden participar, como en el uso de *software* y estándares abiertos para su gestión. Esta IDE desde su concepción ligó la publicación y distribución de la información con el cumplimiento de estándares de intercambio definidos el *Open Geospatial Consortium*

(OGC) y para ello fue necesario coordinar las dinámicas de las distintas iniciativas productoras de geodatos con la implementación mediante diversos paquetes de *software* de los estándares dados. Seguidamente, se detalla la metodología utilizada para la implementación de la IDE Geovisión, los resultados obtenidos hasta el momento, así como el trabajo futuro por realizar para su escalamiento.

Metodología

El primer componente de la IDE abierta Geovisión lo constituye la Red de usuarios, proveedores y actores que se relacionan con la IDE, esta se constituyó convocando a las iniciativas: proyectos de investigación y unidades de la Vicerrectoría de Investigación de la UNED que utilizaban Sistemas de Información Geográfica (SIG), y que se encontraban inscritas en la base de datos Gestiona (sistema que cosecha y administra todas las iniciativas de investigación de la UNED). Así, la red base agrupó al Laboratorio de Ecología Urbana, al Observatorio de Pequeña y Mediana Empresa, la Red de Conservación de la Vida Silvestre y la Salud, el Centro de Investigación en Cultura y Desarrollo, y el Programa de Manejo de Recursos Naturales con su Cátedra de Sistemas de Información Geográfica.

Una vez convocados esos actores (Nodos) se inició un proceso de diagnóstico que analizó: qué información generaban o poseían, qué metodología utilizaban, y con qué equipo lo generaban; con el fin de establecer el estado de avance en la temática. Dicho diagnóstico evidenció que el trabajo que se realizaba en geoinformación se desarrollaba de forma desarticulada y, en algunos casos, de forma empírica, por lo que se inició un proceso de capacitación en el uso de SIG mediante *Quantum GIS*.

Posteriormente, con el fin de regular la dinámica de interacción de la red se establecieron una serie de regulaciones, específicamente una carta de entendimiento que contempla la dinámica de cooperación, los derechos de autor y los derechos de publicación; y una plantilla de metadatos de los datos compartidos. La carta de entendimiento constituye un documento suscrito entre las partes que establece qué datos comparte y cuáles son las restricciones de acceso a ellos. Por otro lado, la plantilla de metadatos tomó como base el protocolo *Dublin Core*, que es el estándar de metadatos promovido por la Fundación de datos abiertos geoespaciales (OSgeo, por sus siglas en inglés) el cual se adaptó y validó según las necesidades de los nodos de la red.

Desde un punto de vista técnico una IDE se conforma de al menos tres capas de aplicación por medio de las cuales se puede administrar la información de distintas fuentes y ofrecerla al usuario en formatos transparentes y semantizados a sus intereses.

La capa de almacenamiento

La primera de estas capas es la de almacenamiento. La implementación más simple de esta capa puede ser un directorio de archivos en formatos espaciales; por ejemplo, el formato *SHAPE* de *ESRI*. Este tipo de implementación requiere que los archivos recopilados se reemplacen en el caso de una actualización lo que conlleva la característica que la información de este tipo suele mantenerse estática en períodos largos de tiempo.

Una implementación más compleja de esta capa es por medio de bases de datos relacionales con componentes espaciales, como *PostGIS* u *Oracle Spatial*, este tipo de implementación permite actualizar la información con mayor frecuencia y por insumos de múltiples usuarios simultáneamente, brindando una fuente de datos dinámica en contraste con la presentación estática de la estructura de archivos.

Por último se puede tomar como capa de almacenamiento una plataforma de servicio final provista por otra arquitectura; es decir, el producto final de una IDE puede encadenarse como insumo inicial de otra IDE. Esta estrategia permite a los administradores de la plataforma poner a disposición de los usuarios material original de otras fuentes pero contextualizados a un entorno deseado.

La capa de servicio

La información espacial puede presentarse en diversos formatos de intercambio según el tipo de dato y la aplicación que lo generó. El OGC mantiene estándares de intercambio para datos espaciales de distintas naturalezas, de manera que cualquier cliente que requiera acceso a la información pueda interpretarla sin necesidad de conocer su formato de origen. La capa de servicio es la encargada de implementar estos estándares, a partir de la información almacenada en distintas presentaciones.

De todas las especificaciones de estándar del OGC los más utilizados son los Servicios de Web de Mapas (WMS), los Servicios Web de Características (WFS) y los Servicios Web de Cobertura (WCS). El formato WMS está definido en su especificación de la siguiente manera: "Un Servicio de Mapas Web (WMS) produce mapas dinámicos a partir de datos referenciados espacialmente provenientes de información geográfica. Este estándar internacional define un "mapa" como un retrato de información geográfica en la forma de un archivo digital de imagen apto para su despliegue en una pantalla de computador" (Beaujardiere, 2006).

Dado que la información generada por un servicio WMS se presenta en formatos pictóricos como JPEG, PNG o GIF, este tipo de servicio es conveniente cuando se desea presentar al cliente información únicamente de consulta, la interoperación con datos provenientes de un WMS es posible; sin embargo, es muy limitada e ineficiente.

A pesar de sus limitaciones el formato WMS es el más cómodo para presentar información en la mayoría de las aplicaciones ya que permite presentar muchas temáticas de información en un mismo contexto de mapa virtual con la ventaja adicional que consume menos recursos en comparación con los demás estándares.

Si se requiere que los usuarios finales sean capaces de interoperar, analizar los datos o generar nueva información a partir de la suministrada por un servicio, el esquema WMS puede resultar insuficiente.

El estándar WFS brinda al usuario la información de coberturas vectoriales codificadas en el Lenguaje Demarcado de Geografía (GML) (Vertanos, 2005). Esta presentación de la información le permite al usuario final realizar operaciones que involucren la geometría de las capas obtenidas así como de los atributos definidos para cada objeto espacial representado en la capa, tales como operaciones de análisis, operaciones topológicas, interpolaciones, o cruce de datos. La especificación WFS-T suministra una interfaz transaccional que permite al administrador del sistema ofrecer a sus usuarios la potestad de modificar los datos almacenados, integrando así el componente participativo en el esquema técnico de la IDE.

De la misma forma que WFS brinda al usuario la información de los objetos vectoriales, el estándar WCS suministra la información de coberturas que representan fenómenos en el espacio o el tiempo en un formato apto para visualización, pero que puede alimentarse a aplicaciones de análisis como modelos científicos o sistemas de información geográfica y detección remota (Baumann, 2012). Cada tesela de una capa obtenida por WCS contiene toda la información pertinente del fenómeno estudiado, ya sea de todas las bandas en una imagen multi espectral, o los valores reales en un mapa de distribución de temperaturas.

La capa de cliente

Toda la información provista por los servidores de la segunda capa, ya presentada en formatos estándar y organizadas según los criterios del publicador de información, puede ser consumida por distintas aplicaciones cliente.

En la actualidad, muchas aplicaciones de información geográfica, tanto de licencia comercial como libres, cuentan con las herramientas para captar y desplegar información proveniente de servicios OGC publicados en Internet, tales como WMS, WFS o WCS. De la misma forma existen múltiples bibliotecas para aplicaciones de escritorio y web que permiten la visualización de temáticas disponibles en servicios de mapas. Las dos más populares son la Interfaz de Programación de Aplicación (API) de *Google Maps* y su contraparte libre la API de *OpenLayers*. Ambas brindan herramientas suficientes para diseñar y publicar un visor de mapas web interactivo con capas vectoriales o imágenes provenientes de servicios OGC. Entre las herramientas más comunes que brinda una API para mapas web pueden encontrarse las de desplazamiento y acercamiento, mostrar y ocultar capas temáticas, consultar atributos de las capas, mostrar etiquetas, seleccionar elementos, dibujar elementos en el mapa, entre otras operaciones.

Implementación de Geovisión

La capa de almacenamiento de Geovisión está soportada por un servidor *Linux Debian 7.X* en el cuál se están recopilando principalmente archivos de tipo *ESRI SHAPE* con la información de las capas geográficas. La información es previamente procesada utilizando *Quantum GIS*, en esta etapa los datos son validados y se filtran los atributos que se desean desplegar en los servicios publicados. En el mismo servidor *Debian* está instalado y configurado el servidor de aplicaciones *Jetty*, dentro del cual está configurada la capa de servicios con *GeoServer* y *GeoNetwork*.

GeoServer es una plataforma de código abierto escrito en *Java* que permite a los usuarios compartir información geoespacial utilizando los estándares abiertos del OGC. *GeoServer* es la implementación de referencia de WFS y WCS y está certificado por OGC por su compatibilidad y eficiencia con WMS (OpenPlans, 2014). Además de contar con una gran comunidad de usuarios, *GeoServer* es utilizado por múltiples proveedores comerciales que, a la vez, contribuyen con el mantenimiento y desarrollo de la plataforma (Open Source Geospatial Foundation, 2014). Los más destacados son los *Boundless*, creadores originales de *GeoServer* que ahora se dedican a la implementación comercial de IDEs para empresas (Boundless, s.f.) y *GeoSolutions*.

Por último, la capa de cliente está implementada utilizando el API abierto *OpenLayers* integrado en un portal web interactivo desarrollado en HTML 5. Para los visores de mapas de Geovisión se personalizó el árbol de exploración de capas, lo que permitió la incorporación de herramientas relativas a la capa, tales como: zoom a la capa, despliegue de simbología de la capa, despliegue de metadatos de la capa, entre otros, en una interfaz integrada y de acceso inmediato para el usuario.

Resultados y discusión

Dado que las IDEs conectan a las personas y los datos de un modo operacional (Hvingel, Baaner, & Schroeder, 2014), podría decirse que marcan el grafo de la red; es decir, los nodos

asociados con una IDE pueden concebirse según rol o roles que desempeñan. Vaccari, Shvaiko, & Marchese (2009), conciben los nodos de una IDE como usuarios y proveedores con una naturaleza institucional, y los definen como instituciones públicas que requieren información geográfica para solventar sus deberes; instituciones internacionales, regionales o nacionales que coordinan e integran información geográfica provista por diferentes agentes SIG; instituciones de investigación que esperan analizar la disponibilidad y calidad de información geográfica que se genera en áreas específicas de trabajo; compañías privadas que necesitan información geográfica para crear productos y servicios empresariales (*Geo-marketing*); y usuarios no expertos con necesidad de localizar de forma fácil y accesible características geográficas. Por otro lado, Richter, Miscione, & Georgiadou (2010) consideran una gama más amplia de nodos, descritos en categorías según una estructura jerárquica.

Así, los nodos pueden concebirse como elementos que incluyen usuarios, miembros, indicadores; como creadores, que agrupa narradores, conductores, evaluadores y sensores humanos; como adaptadores, que abarca estudiantes y perceptores; y como Creadores/Adaptadores en potencia, que incluye a los practicantes. Geovisión se concibió como una red colaborativa de usuarios de quienes, al otorgarles capacitación y apoyo de nodos más avanzados en la temática SIG, se espera desemboquen en una red de proveedores, conductores y hasta evaluadores de información; incluso se espera que con el pasar del tiempo se cubra toda la gama de posibles nodos, dado que, las redes se encuentran en constante evolución y nunca llegan a un estado final (Latour, 1996).

Por otro lado, a pesar que la red se mueve en una dinámica cambiante, esta sí debe ser regulada por un marco común de reglas y estándares, dadas las implicaciones legales que conlleva la generación, administración y distribución de información relacionada geográficamente. En este contexto los metadatos juegan un rol fundamental al permitir conocer quién generó la información, cuando la generó, cómo la generó y dónde la generó. Por ese motivo se han generado una serie de estándares para el reporte de metadatos cuya naturaleza puede ser propietaria como el caso de ISO 19115:2003 *Geographic Information Metadata*, ISO 19119:2005 *Geographic Information Services*, o libre como el caso *Dublin Core*. Geovisión sigue esta última vertiente, dado que es el perfil recomendado por la OSgeo y cabe recalcar que es libre manteniendo así la política de acceso abierto. Si bien el perfil de metadatos de Geovisión se basa en un estándar diferente a la propuesta de Jiménez (2012) para la Infraestructura de Datos Espaciales de Costa Rica (IDECORI) o el Perfil latinoamericano de metadatos que se desarrolló teniendo en cuenta el "Anexo C: Extensiones y perfiles de metadato, Cláusula C.6: Reglas para crear un perfil *Rules for creating a profile*" en el estándar ISO 19115:2003" (IGAC & IPGH, 2011), este sí es compatible con estos modelos de metadatos en cuanto a los contenidos.

Con respecto a la comparación de los esquemas de metadatos en su valores obligatorios la plantilla de Geovisión concuerda con la propuesta de IGAC & IPGH (2011); sin embargo, difiere en dos aspectos con respecto a Jiménez (2012), dado que este sugiere la incorporación del elipsoide de referencia y del datum, y en la plantilla de Geovisión no se incorporan esos valores porque ello está implícito en cada sistema de referencia por lo que el ESPG es suficiente.

Finalmente, con respecto a las dinámicas de la red, el tema de derechos de autor de los datos se encuentra en estudio; no obstante, sí se tiene definido el uso de *Creative Commons*, mediante la característica *Attribution-ShareAlike 4.0 International* (CC BY-SA 4.0) que asegura el mantenimiento de la accesibilidad de los datos.

La publicación de una IDE mediante estándares abiertos implicó la operacionalización de la arquitectura lo cual se logró mediante el ensamble de múltiples plataformas y servicios abiertos (*GeoServer, GeoNetwork, OpenLayers y Quantum GIS*) que se comunican entre sí a

través de los protocolos definidos por la OGC, abarcando las diferentes capas técnicas de las arquitectura de la IDE.

Con respecto a la capa de almacenamiento, los archivos contenidos a la fecha son *shapes*, dado que es el formato más utilizado por lo nodos; sin embargo, se espera que en el futuro se habilite un modelo de trabajo que involucre la migración de *shapes* a una base de datos espacial como *PostGIS*.

Por otro lado, la capa de servicio sí ha sido explotada al máximo; así, el servicio que permite compartir y editar la información almacenada en la capa de almacenamiento es *GeoServer*, donde si bien existen otras plataformas similares como *MapServer* o *deegree*, esta se caracteriza por una facilidad de manejo, dado que la configuración se realiza a través de una aplicación Web que evita la edición de complejos ficheros de configuración, además dispone de una potente comunidad, con listas e-mail muy activas que dan soporte al proyecto (Ministerio de Bienes Nacionales 2011) y permite la implementación de servicios WFS-T. Adicionalmente, *GeoNetwork* al ser un repositorio digital accesible por internet que permite encontrar y acceder información geoespacial, cumple un rol de permitir a los proveedores de datos describir sistemáticamente sus datos y servicios (Ticheler & Hielkema, 2007), mediante las plantillas de metadatos.

Asimismo, quien complementa los servicios web ofrecidos por las plataformas anteriores es el SIG *Quantum GIS*, un SIG de código abierto y que está sujeto a la Licencia Pública General (GNU). *Quantum GIS* es comparable a plataformas libres como: GvSIG, Kosmo, *Marble*; o propietarios como: *ArcGIS*, *ArcView* o *Manifold*; pero, a diferencia de algunas de las plataformas que se mencionan es considerado como una aplicación amigable que proporciona funciones y características comunes. Además, admite diversos formatos de datos *ráster* y vectoriales, y de pueden añadir nuevos formatos usando la arquitectura de complementos (QGIS, 2014).

El ensamble de la IDE permitió la habilitación de servicios dirigidos a diferentes tipos de usuarios, por ejemplo, gracias al servicio WFS mediante un nivel de transferencia básico se le permite al usuario la utilización y descarga de los datos; pero no así la modificación de los datos originales contenidos en el servidor. Sin embargo, cabe aclarar que posterior a la descarga los datos sí pueden ser modificados de manera local por el usuario y para el público en general el servicio WMS permite el acceso a visores temáticos que constituyen una herramienta para transferir el conocimiento desde los investigadores hasta el público, al admitirles hacer visibles los resultados de investigación de sus proyectos por un periodo de tiempo establecido, así, los visores representan un mapa interactivo, con variables controladas que le permiten al usuario una navegabilidad fácil y eficiente.

Conclusiones

La red asociada con una IDE se caracteriza por una naturaleza dinámica y creciente; sin embargo, los actores claves dentro de la red sí podrían considerarse finitos por lo que se debe trabajar en conectarlos. En el caso de Geovisión se han conectado algunos de estos actores, especialmente dentro del Sistema de Investigación de la UNED, pero se debe seguir trabajando en incorporar más nodos dentro y fuera de la institución.

Para asegurar una adecuada dinámica de trabajo en red y acceso abierto a la información es imprescindible contar con un protocolo de reporte de metadatos y establecer una política legal para el acceso y uso de la información. La experiencia de este proyecto muestra que el *GeoNetwork* es una herramienta de gran utilidad en el reporte de metadatos al permitir publicarlos mediante diferentes estándares incluidos *Dublin Core* e ISO. Por otro lado, las

licencias auspiciadas bajo *Creative Commons* es una excelente alternativa para normar el uso y acceso a los datos.

El conocimiento y aplicación de estándares es vital para homogeneizar la información proveniente de distintas fuentes; en el caso de Geovisión, el uso de estándares de servicio OGC permite al usuario cruzar la información espacial de todos los nodos que alimentan el sistema sin mayor requerimiento técnico que un explorador de Internet.

La combinación de plataformas libres como *Jetty*, *GeoServer*, *GeoNetwork* y *OpenLayers* posibilitan el ensamblaje completo de la arquitectura técnica de una IDE desde su capa de almacenamiento hasta sus aplicaciones de visualización. La amplia documentación disponible en todas las herramientas y la aplicación de estándares abiertos permite ensamblar la infraestructura como piezas de un rompecabezas que se ajustan a la perfección y requieren poca configuración.

Una IDE suministra todas las herramientas para compartir información espacial que una organización necesita en un formato amigable para usuarios sin *expertise* técnica así como en formatos más completos para usuarios especializados.

Bibliografía

- Baumann, P. (2012). OGC® WCS 2.0 Interface Standard-Core: Corrigendum (OGC 09-110r4). Massachusetts: Open Geospatial Consortium. Disponible en: <https://portal.opengeospatial.org/files/09-110r4>
- Beaujardiere, J. (2006). OpenGIS® Web Map Server Implementation (OGC® 06-042). Massachusetts: Open Geospatial Consortium. Disponible en: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=14416
- Bienes. (2010). Sistema Nacional de Información Territorial- Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile. Disponible en: <http://www.ide.cl/images/Publicaciones/Revistas/2010.pdf>
- Bravo, E. & Montenegro, P. (2011). Proyecto: Base de Datos Geográfica - Cartográfica en el Instituto Geográfico Militar del Ecuador con *software* libre. Instituto Geografico Militar, Ecuador. Disponible en: <http://www.geoportalmigm.gob.ec/portal/index.php/infraestructura-de-datos-espaciales/>
- Boundless. (s.f.). About. Disponible en: <http://boundlessgeo.com/about/>
- CINDE (Comité de Planeación de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales). (2010). Plan de Acción para la Implantación de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales. Disponible en: http://www.concar.gov.br/arquivo/PlanoDeAcaoINDE_ESP.pdf
- Gobierno de Chile. (2014). Política Nacional de Información Geoespacial. Información del territorio para la toma de decisiones. Disponible en: <http://www.ide.cl/images/Snit/Politica-Nacional-de-Informacion-Geoespacial.pdf>
- Hvingel, L., Baaner, L., y Schroeder, L. (2014). Spatial Data Infrastructures - legal implications. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Vol (9) 2014. 26 p.
- IGAC y IPGH. (2011). Perfil Latinoamericano de Metadatos Geográficos - LAMP. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 126 p.
- ICDE. (2014). Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales. Disponible en <http://www.icde.org.co/>
- Jimenez, J. (2012). Propuesta del Perfil de Metadatos para la Infraestructura de Datos Espaciales de Costa Rica (IDECORI). II Encuentro Nacional de Usuarios de SIG y Teledetección. Heredia, Costa Rica.
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2011). Análisis de plataformas tecnológicas para implementación de IDE. SNIT. Disponible en: <http://www.ide.cl/images/Publicaciones/Documentos/DOCUMENTOS/DocAnálisisIDE.html>
- Morocho, V. & Morales, A. (2012). El Vertiginoso Crecimiento de la IDE Ucuencia hacia la IDE RedCEDIA: un estudio de Caso Exitoso de IDE Subnacional. Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca. Disponible en: <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/580/1/Crecimiento%20de%20IDE%20Ucuencia%20hacia%20IDE%20RedCEDIA.pdf>
- OGC® Standards and Supporting Documents | OGC(R). (s.f.). *Open Geospatial Consortium* | OGC(R). Disponible en: <http://www.opengeospatial.org/standards>

- OpenPlans. (2014). GeoServer: Overview. Disponible en: <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/introduction/overview.html>
- Open Source Geospatial Foundation. (2014). GeoServer Commercial Support. Disponible en: <http://geoserver.org/support/>
- QGIS. (2014). QGIS User Guide, Publicación 2.2. Disponible en: <http://docs.qgis.org/2.2/pdf/es/QGIS-2.2-UserGuide-es.pdf>
- Rajabifard, A. & Williamson, I. P. (2001). Spatial data infrastructures: concept, SDI hierarchy and future directions, in Proceedings, of GEOMATICS' 80 Conference, Tehran, Iran.
- Richter, C., Miscione, G., & Georgiadou, Y. (2010). Conceptualizing people in SDI literature: Implications for SDI research and development. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2010, Vol.5, 286-325.
- Rix, J., Fast, S., Masser, I., Salgé, F., & Vico, F. (2011). Methodology to Describe, Analyse and Assess Subnational SDIs: Survey, Experiences and Lessons Learnt. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2011, Vol.6, 23-52.
- Ticheler, J & Hielkema, J. (2007). GeoNetwork opensource. *Internationally Standardized Distributed Spatial Information Management. The Journal of the Open Source Geospatial Foundation Volume 2 / September 2007.*
- Universidad de Chile. (2011). Servicio de elaboración de una propuesta de política nacional de información geoespacial. Informe Preliminar de Diagnóstico. Disponible en: <http://www.ide.cl/images/Snit/Propuesta-de-politica-nacioanl-de-informacion-geoespacial-informe-preliminar-de-diagnostico.pdf>.
- Vaccari, L., Shvaiko, P., & Marchese, M. (2009). A geo-service semantic integration in Spatial Data Infrastructures. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2009, Vol. 4, 24-51.
- Vretanos, P. (2005). Web Feature Service Implementation Specification (OGC 04-094). Massachusetts: Open Geospatial Consortium. Disponible en: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=14145.
- Williamson, I.; Rajabifard, A., & Binns, A. (2006). Challenges and Issues for SDI Development. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2006, Vol. 1, 24-35.

Multímetro como sistema de medición alternativo en las valoraciones potenciométricas

Multimeter as Alternative Measurement System in the Potentiometric Titrations

José de Jesús Pérez-Saavedra¹, Sonia Rincón-Arce²,
Miguel Ángel Cisneros-Valladares³

Fecha de recepción: 5 de noviembre del 2014

Fecha de aprobación: 21 de marzo del 2015

Pérez-Saavedra, J; Rincón-Arce, S; Cisneros-Valladares, M. Multímetro como sistema de medición alternativo en las valoraciones potenciométricas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 25-44.

1 Químico Farmacéutico Biólogo. Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Tel. 52 (55)56232013 México. Correo electrónico: quimicaa@unam.mx

2 Licenciada en Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Tel. 52 (55)56232013 México. Correo electrónico: rincon@unam.mx

3 Licenciado en Ingeniería Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Tel. 52 (55)56232013 México. Correo electrónico: angel_civa_@hotmail.com

Palabras clave

Potenciómetro; multímetro; valoraciones; ácido-base; redox; complejométricas; halogenuros.

Resumen

En el presente trabajo, experimentalmente se demuestra que las valoraciones potenciométricas usuales en química analítica (ácido-base, redox, complejométricas y de halogenuros) pueden llevarse a cabo utilizando como sistema indicador de punto de equivalencia, un multímetro en vez del potenciómetro, mediante la prueba estadística de t de Student; y se posibilita con esto que los laboratorios de docencia se puedan equipar mejor y a bajo costo, con multímetros en vez de potenciómetros.

Keywords

Potentiometric; multimeter; titrations; acid-base; redox; complexometric; halides.

Abstract

In this paper, we experimentally demonstrated by the statistical test Student t, the usual potentiometric titrations in analytical chemistry (acid-base, redox, complexometric and halides) can be performed using as indicator system to valuation a multimeter instead of the potentiometer. Enabling this, teaching laboratories, can be equipped at low cost with multimeters rather than potentiometers.

Introducción

Todos los estudiantes de las licenciaturas del área de química, encuentran en el laboratorio, la comprobación de lo que se les enseña en la pizarra. Esta situación, además de ser una afirmación de la vocación del estudiante con la realidad de su carrera, fundamenta y apoya los modelos de trabajo teóricos (Pérez y Rincón, 2003). Desafortunadamente, el trabajo experimental es caro ya que, en la mayoría de los casos, es necesario utilizar instrumentos de medida. En los laboratorios de Química Analítica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, unidad periférica de la Universidad Nacional Autónoma de México, una de las metodologías instrumentales de uso más común es la potenciometría a intensidad nula, una instrumentación analítica muy amigable, (Harris, 2012) “de bajo costo” comparada con métodos tales como absorción atómica, cromatografía de gases o de líquidos o espectrofotometría UV-visible. Pero, aun siendo una técnica “de bajo costo” cada potenciómetro cuesta, aproximadamente US\$700 (Pérez, Rincón, Hernández y Romero, 2011). Considerando el número de estudiantes que se atienden en nuestros laboratorios, se necesitan funcionando correctamente 20 potenciómetros cuyo promedio de vida útil es de aproximadamente 6 años. Si se muestra una alternativa para sustituir dichos potenciómetros, por instrumentos de mayor duración y menor precio, se tendrá plenitud en cubrir el trabajo experimental a bajo costo. Esto es lo que se pretende lograr con el presente desarrollo experimental, en donde se demuestra estadísticamente, que es lo mismo utilizar un potenciómetro (\$700) que un multímetro (\$90 dólares) como sistema indicador del fin de valoración.

Objetivo

Mediante valoraciones convencionales utilizadas en química analítica (ácido-base, redox, complejométricas y de halogenuros), se comprobará, a través de la prueba estadística *t* de Student, que es equivalente utilizar un multímetro que un potenciómetro como instrumento de detección del volumen del punto de equivalencia, con el fin de sustituir en labores docentes, el potenciómetro por el multímetro.

Metodología

Valoraciones

1. Redox: se vertieron, por separado, nueve alícuotas de 5 ml de Sulfato ferroso amoniacal (SFA) 0.1M, en ácido sulfúrico al 5%, (Orozco 1979) en un vaso de fondo cóncavo donde se sumergieron los electrodos de platino, uno conectado al potenciómetro y el otro al multímetro. Las valoraciones se realizaron con sulfato cérico amoniacal (SCA) 0.1M, utilizando una bureta de 10 ml, añadiendo volúmenes de 0.25 ml como se muestra en la Figura 1. Se registraron los respectivos resultados y se graficaron.
2. Halogenuros: se vertieron, por separado, nueve alícuotas de 5 ml de Cloruro de potasio, nueve alícuotas de 5 ml de Bromuro de potasio, y nueve alícuotas de 5 ml de Yoduro de potasio, por último nueve alícuotas de 5 ml de una mezcla de los tres a una concentración de 0.011M, en un vaso de fondo cóncavo, las cuales se valoraron, con nitrato de plata (0,02M). El montaje experimental se muestra en la figura 2 (los electrodos de plata se conectaron uno al multímetro y otro al potenciómetro). La valoración se realizó con una bureta de 10 ml, añadiéndose volúmenes de 0,25 ml. Se registraron los respectivos resultados y se graficaron.
3. Complejos: se vertieron nueve alícuotas de 5 ml, por separado de una mezcla de (SFA) y Sulfato férrico 0.001M y 0.013M, a pH de 2.4 en un vaso de fondo cóncavo, cada una de las alícuotas se valoró con EDTA (0.01 M), el montaje experimental fue equivalente al utilizado en la valoración de óxido-reducción. Se registraron los respectivos resultados y se graficaron.
4. Ácido-base: se tomaron nueve alícuotas de 5 ml de solución de ácido nítrico 0,008M se valoraron con hidróxido de sodio (0,01 M). El montaje experimental fue similar al de la valoración de halogenuros, con la diferencia de que a un potenciómetro se conectó el electrodo combinado de vidrio y al multímetro un electrodo Posai-Posai (Pérez, Rincón, Tenorio 2013) separados por un puente de agar. La titulación se realizó adicionando volúmenes de 0,25 ml. Se registraron los respectivos resultados y se graficaron.

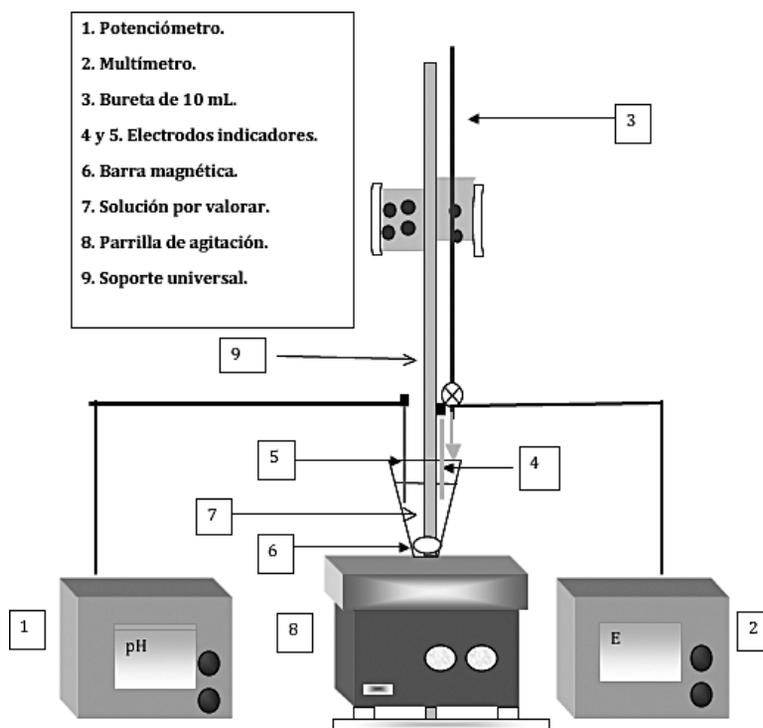


Figura 1. Esquema del montaje experimental utilizado para las valoraciones ácido-base y Redox.

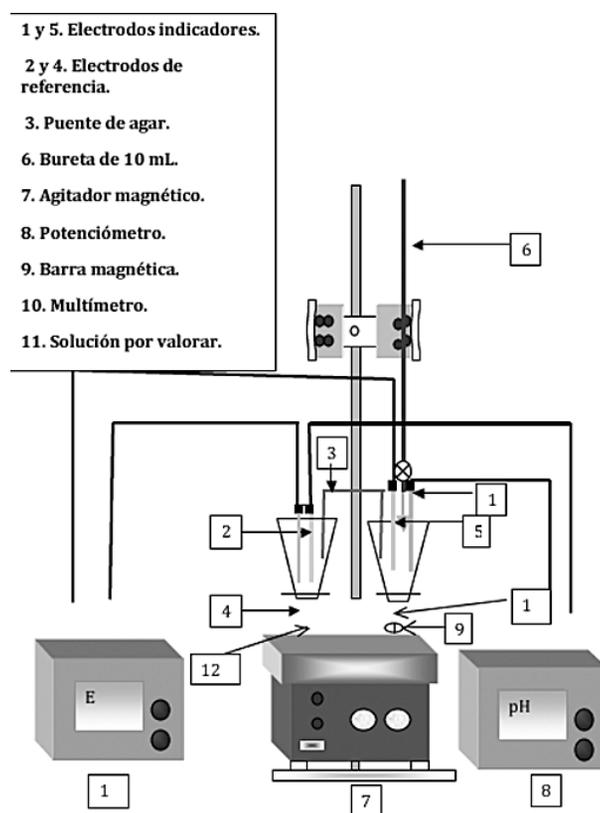


Figura 2. Esquema del montaje experimental utilizado para las valoraciones complejométricas y de halogenuros.

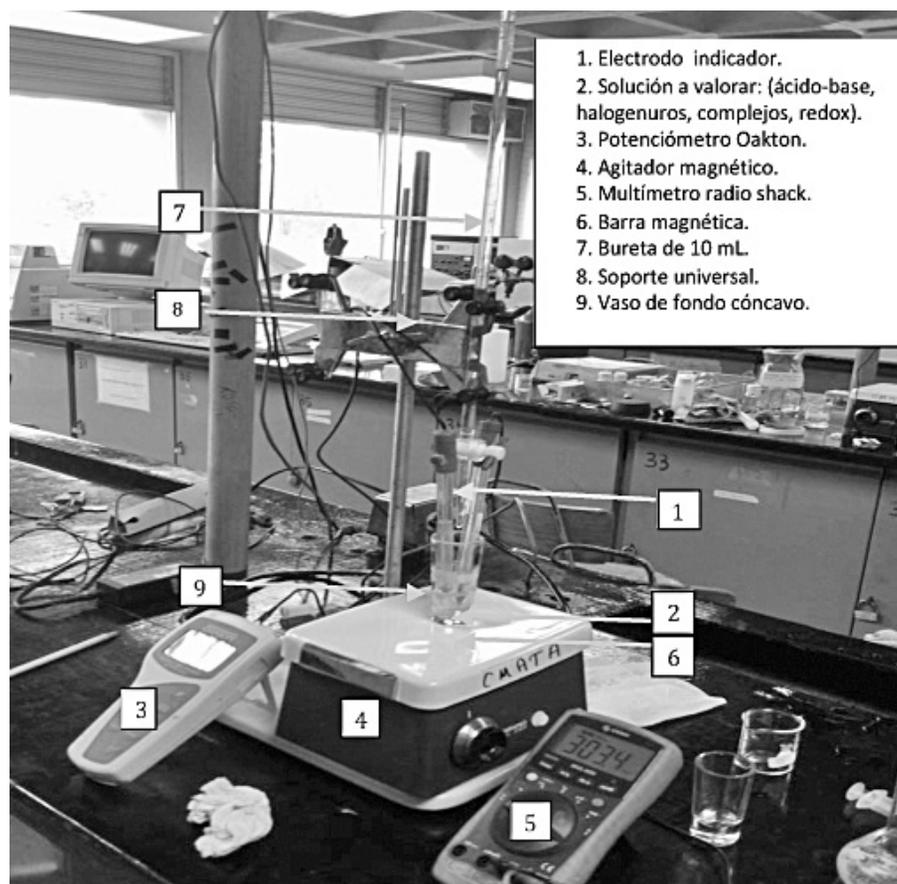


Figura 3. Fotografía que muestra el montaje utilizado en las valoraciones

Resultados

I. Redox.

Cuadro I. Se presentan los volúmenes de puntos de equivalencia (V.P.E.) De las nueve valoraciones de 5 ml de SFA (0.1 M) con SCA (0.1 M), obtenidos mediante un potenciómetro y un multímetro.

Valoración N.º	V P.E (potenciómetro)	V P.E (multímetro)
1	4.75	4.75
2	5	5
3	5	5
4	5.25	5.25
5	5	5
6	5	5
7	5	5
8	5	5
9	5	5
	V promedio 5mL	V promedio 5mL

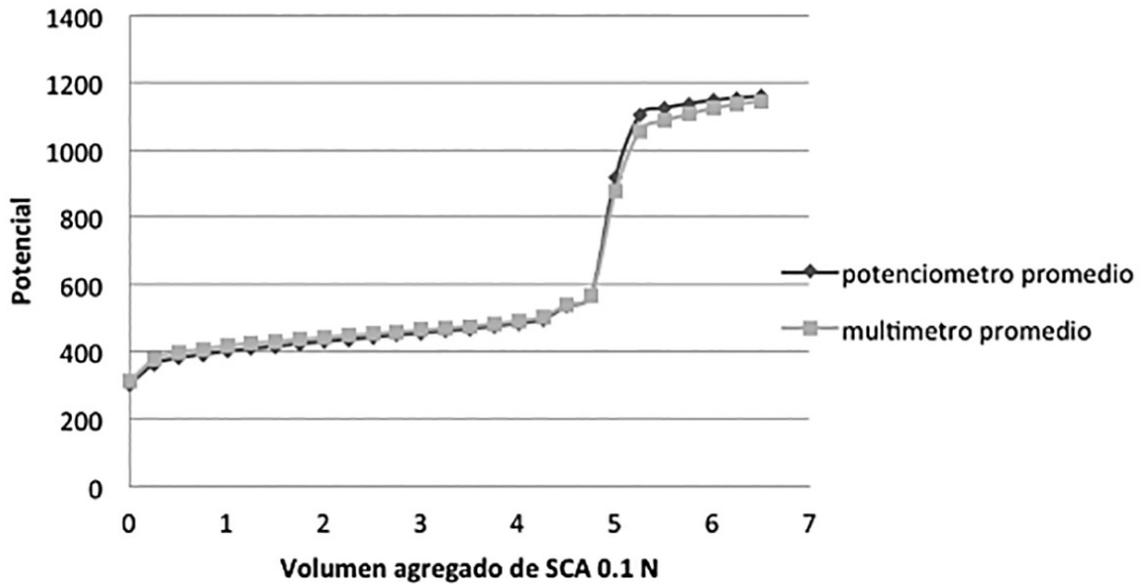


Figura 4. Curva promedio de nueve valoraciones de 5 ml de SFA (0.1N) con SCA (0.1N).

Halogenuros

Cloruros

Cuadro 2. Se presentan los V.P.E. de las 9 valoraciones, de 5 ml de cloruro de potasio (0,011 M) con nitrato de plata (0,02 M).

Valoración N.º	V.P.E ml (POTENCIÓMETRO)	V.P.E ml (MULTIMETRO)
1	2.75	2.75
2	2.75	2.75
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	2.75	2.75
7	2.75	2.75
8	2.75	2.75
9	2.75	2.75
	V promedio 2.833	V promedio 2.833

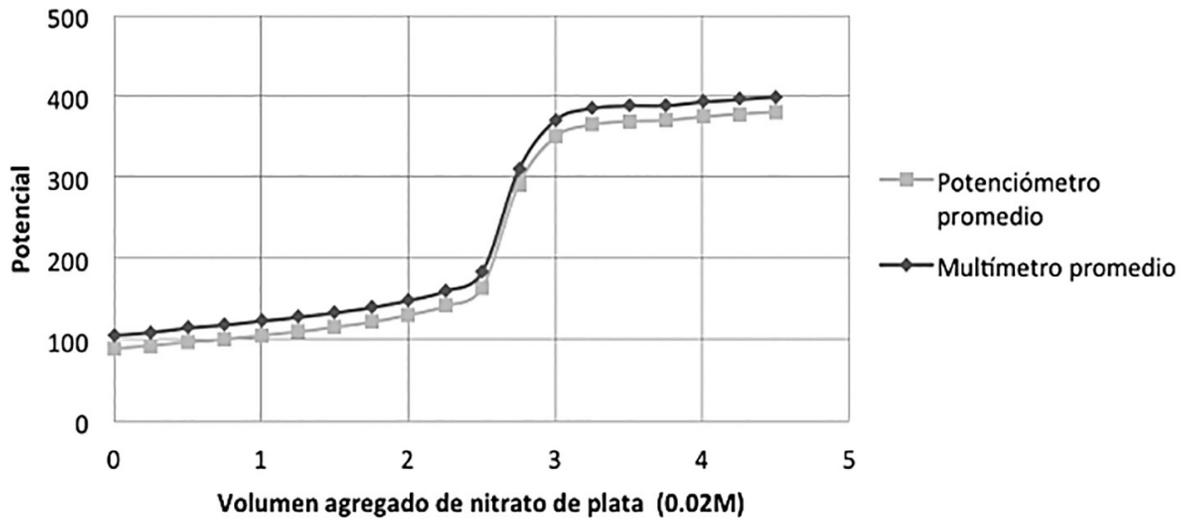


Figura 5. Curva promedio de nueve valoraciones de 5 ml de cloruro de potasio (0,011M) con nitrato de plata (0,02M)

Bromuros

Cuadro 3. Se presentan los V.P.E. de las 9 valoraciones, de 5 ml de bromuro de potasio (0,011 M) con nitrato de plata (0,02 M).

Valoración N.º	V.P.E ml (POTENCIÓMETRO)	V.P.E ml (MULTIMETRO)
1	2.75	2.75
2	3	3
3	2.75	2.75
4	2.75	2.75
5	2.75	2.75
6	2.75	2.75
7	2.75	2.75
8	2.75	2.75
9	2.75	2.75
	V promedio	V promedio
	2.7777	2.7777

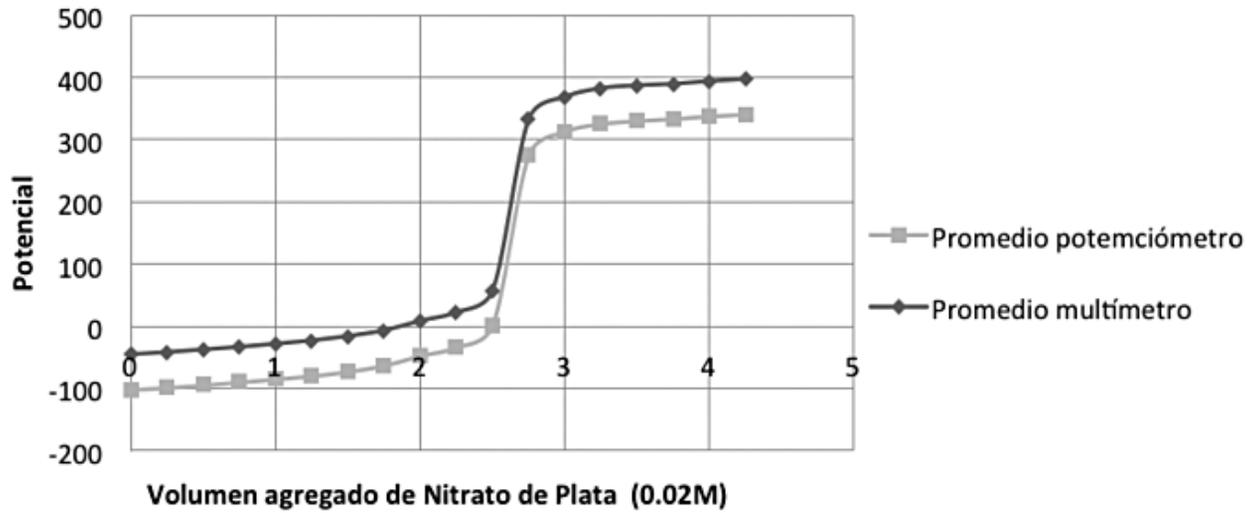


Figura 6. Curva promedio de 9 valoraciones de 5 ml de Bromuro de potasio (0,011M) con Nitrato de plata (0,02M).

Yoduros

Cuadro 4 . Se presentan los puntos de equivalencia de las 9 valoraciones, de 5 ml de yoduro de potasio (0,011 M) con nitrato de plata (0,02 M).

Valoración No.	V.P.E ml (POTENCIÓMETRO)	V.P.E ml (MULTIMETRO)
1	2.75	2.75
2	2.75	2.75
3	2.75	2.75
4	2.75	2.75
5	2.75	2.75
6	2.5	2.5
7	2.75	2.75
8	2.75	2.75
9	2.5	2.5
	V promedio 2,6944	V promedio 2,6944

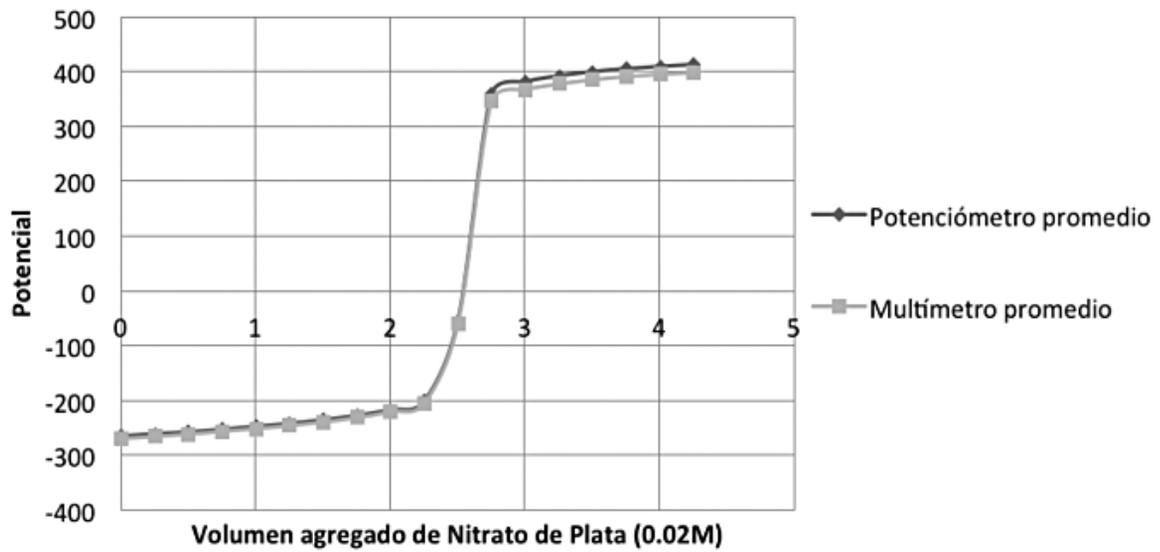


Figura 7. Curva promedio de 9 valoraciones de 5 ml de yoduro de potasio (0.011M).

Cloruros, bromuros y yoduros.

Cuadro 5. Se presentan los puntos de equivalencia de las nueve valoraciones de 5 ml de los tres halogenuros en la misma solución con nitrato de plata (0,03 M).

Yoduros		Bromuros		Cloruros	
V.P.E ml (P)	V.P.E ml (M)	V.P.E ml (P)	V.P.E ml (P)	V.P.E ml (P)	V.P.E ml (P)
1.75	1.75	5.25	5.25	7	7
2.25	2.25	5	5	7	7
2.25	2.25	4.75	4.75	6.75	6.75
2.25	2.25	4.75	4.75	6.75	6.75
2.25	2.25	4.75	4.75	6.5	6.5
2.25	2.25	5	5	6.75	6.75
2.25	2.25	4.75	4.75	6.75	6.75
2.25	2.25	5	5	6.75	6.75
2.25	2.25	5	5	6.75	6.75
V promedio 2.1944	V promedio 2.1944	V promedio 4.9166	V promedio 4.9166	V promedio 6.7777	V promedio 6.7777

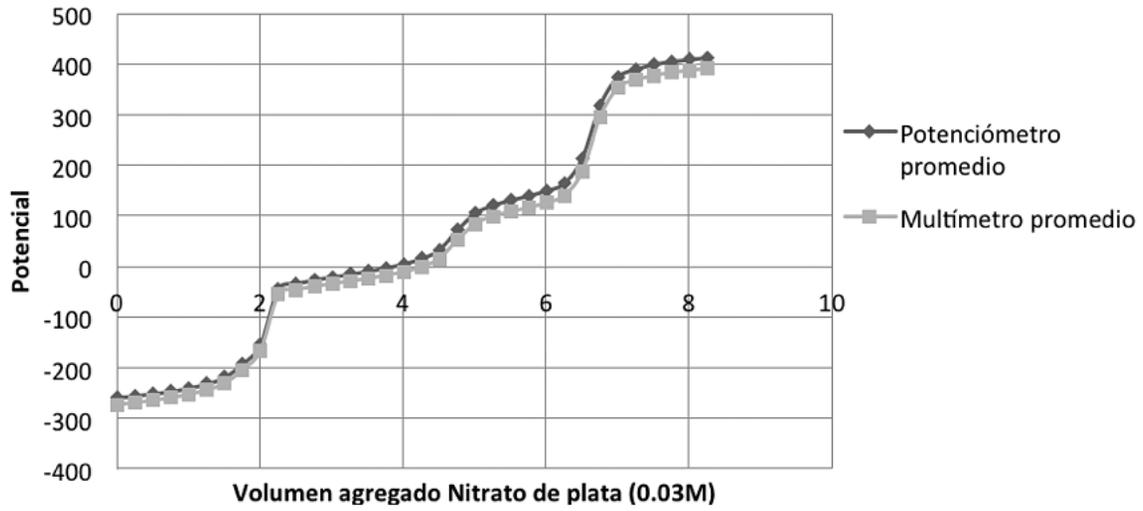


Figura 8. Curva promedio de nueve valoraciones de 5 ml de yoduros (0,013), bromuros (0,016), y cloruros, (0,011M) los tres en la misma solución, con Nitrato de plata (0,03M)

Complejometría

Cuadro 6. Se presentan los puntos de equivalencia de las 9 valoraciones de la solución que contiene 5 ml de hierro (II) (0,001M) y hierro (III) (0,013M) con EDTA (0,01 M).

# de Valoración	V P.E (potenciómetro)	V P.E (multímetro)
1	6.75	6.75
2	6.75	6.75
3	6.75	6.75
4	6.75	6.75
5	6.75	6.75
6	6.75	6.75
7	6.75	6.75
8	6.75	6.75
9	6.75	6.75
	V promedio 6.75	V promedio 6.75

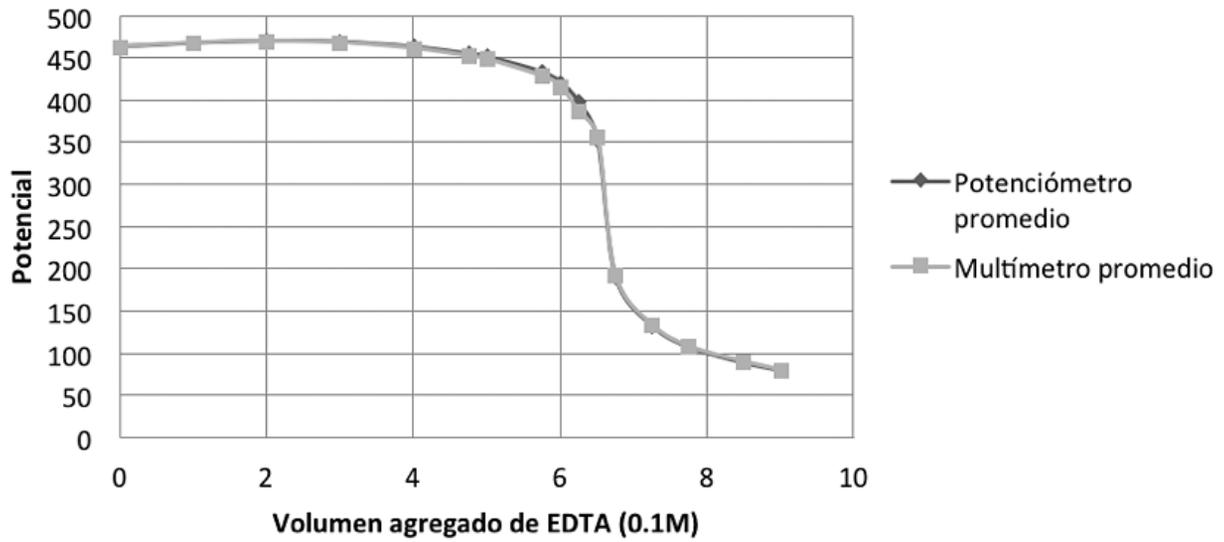


Figura 9. Curva promedio de nueve valoraciones de la solución que contiene la mezcla de 5 ml de SFA (0,013M) y SF (0,001M) a pH= 2.4, con EDTA (0,01M).

Ácido-base

Cuadro 7. Se presentan los puntos de equivalencia de las 9 valoraciones de la solución que contiene 5 ml de ácido nítrico (0008M) con hidróxido de sodio (0.01M).

Valoración N.º	V. P.E (potenciómetro)	V. P.E (multímetro)
1	4	4
2	4.25	4.25
3	4	4
4	4.25	4.25
5	4.25	4.25
6	3.75	3.75
7	3.75	3.75
8	3.75	3.75
9	4	4
	V promedio 4,00	V promedio 4,00

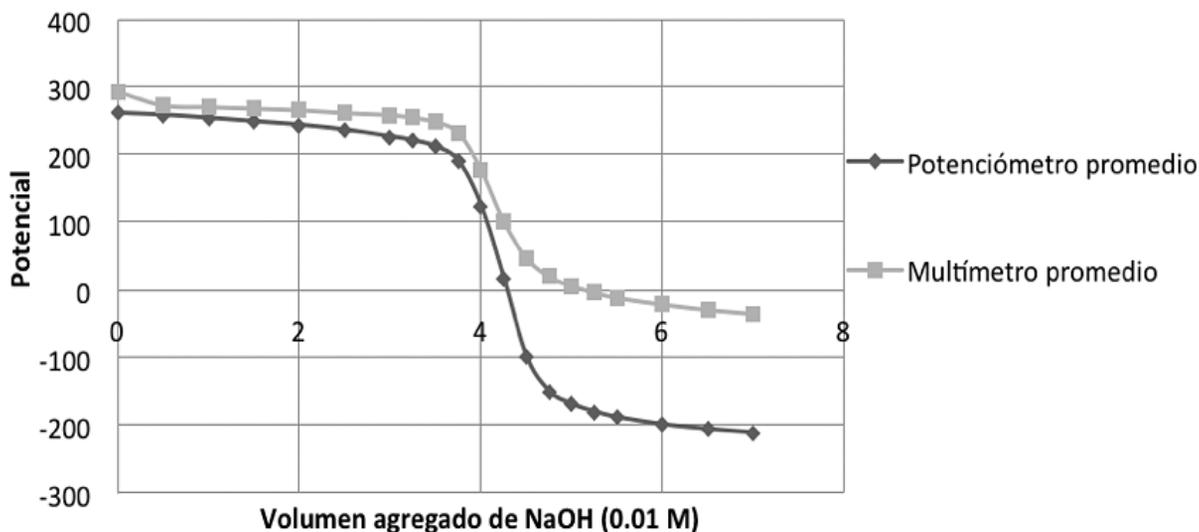


Figura 10. Curva promedio de 9 valoraciones de 5 ml de ácido nítrico (0,008M) con hidróxido de sodio (0,01M)

Conclusiones

Las pruebas estadísticas realizadas para los cuatro tipos de valoraciones potenciométricas usuales en química analítica (ácido-base, redox, complejos y valoración de halogenuros) muestran que es equivalente, como instrumento de fin de valoración, un potenciómetro a un multímetro, ya que no existe diferencia significativa entre ambos métodos; además, las respuestas para ambos instrumentos de medida son rápidas. Para todos los casos como el multímetro no tiene la misma calibración que el potenciómetro las gráficas obtenidas son las mismas que para el potenciómetro, pero con un desfase de alrededor de 20 unidades, que al sumárselas, dan las mismas gráficas que el potenciómetro. Para el caso de tres metodologías (redox, complejos y valoración de halogenuros) los mismos electrodos que se utilizan en potencimetría, son utilizados en las valoraciones con multímetro. Para el caso de las valoraciones ácido base, se puede utilizar también el electrodo de vidrio combinado usual, pero por su elevada resistencia, la estabilización de las lecturas se hace muy lenta, para lo que se sustituyó dicho electrodo por un electrodo Posai-Posai (Pérez, S.J. de J., Rincón, A.S., C., Tenorio, M.H, 2013) la posible instrumentación de esta metodología en los laboratorios de docencia, mejoraría el equipamiento de dichos laboratorios (por el precio de un potenciómetro se pueden adquirir 9 multímetros). Logrando con esto que ningún estudiante quede sin equipo de medida, y consecuentemente se logre el objetivo pretendido para el trabajo de laboratorio de los estudiantes del área de química, que es refrendar, con el trabajo de laboratorio, su vocación de estudiantes de una carrera licenciatura teórico-práctica.

Reconocimiento

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGPA-PAPIME Clave del proyecto PE201214.

Al señor Draucin Jiménez Celi, por la elaboración de los tubos de vidrio con los que se obtuvo el electrodo.

Bibliografía

- Orozco D. Fernando *Análisis Químico Cuantitativo*, Grupo Editorial Porrúa, México D. F. 1979.
- Pérez, S.J. de J. & Rincón, A.S. (2003). Potenciometría Con Volúmenes a Nivel de Microescala en Educación. *Rev. de Edu. Quím.* 14(3): 148-150.
- Pérez, S.J. de J., Rincón, A.S., Hernández, C., Romero, C.G. (2011). Potenciometría de oxidorreducción a microescala en docencia. *Tec. en Marcha.* 24(2): 45-52.
- Pérez, S.J. de J., Rincón, A.S., C., Tenorio, M.H. (2013). Construcción de un Electrodo combinado Posai-Posai Para Microvaloraciones Ácido-base. *Tec. en Marcha.* 26(4): 3-12.
- Harris Daniel C. *Análisis Químico Cuantitativo*, Editorial Reverté Tercera Edición Barcelona España 2012.
- Swartz Michael, *analytical method, development and validation*. Marcel Dekker INC USA 1997, pp. 53-67.

Anexo 1

Reacciones químicas:

I. Oxidorreducción:



II. Halogenuros

II a. Cloruros



II b. Bromuros



II c. Yoduros



III. Complejometría



IV. Ácido-base



Anexo II

Cálculo de la t de Student

Representación de la distribución t de Student.

Cálculo de t

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Dónde:

\bar{X}_1 y \bar{X}_2 : son las medias poblacionales (multímetro y potenciómetro, respectivamente)

S_1 y S_2 : son las desviaciones estándar, respectivamente

n_1 y n_2 : es el número de muestras, respectivamente

Cálculo de grados de libertad

$$g.l = \left\{ \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\left(\frac{S_1^2}{n_1} \right)^2 + \left(\frac{S_2^2}{n_2} \right)^2} \right\} - 2$$

Dónde:

S_1 y S_2 : son las desviaciones estándares de multímetro y potenciómetro, respectivamente

n_1 y n_2 : es el número de muestras, respectivamente

Valoración de óxido-reducción

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	657.4518519	656.762963
2	603.5185185	596.7814815
3	605.3333333	605.8259259
4	597.4444444	595.9111111
5	607.9259259	601.3925926
6	609.1481481	603.3925926
7	626.2222222	624.2259259
8	624	629.4962963
9	614.0740741	615.8296296

media	616.1242798	614.4020576
D. STD	18.08429009	19.80288185
varianza	327.0415479	392.1541296

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	16	g.l	17.8374
valor de "z" calculado	0.1926	valor de "z" calculado	0.1926
valor critico superior	2.55	valor critico superior	2.5667
valor critico inferior	-2.55	valor critico inferior	-2.5667

$$-2.55 < 0.1926 < 2.55$$

$$-2.5667 < 0.1926 < 2.5667$$

Se concluye que en la valoración de SFA con SCA, los potenciales promedio obtenidos, empleando un multímetro como sistema de medición, son iguales a los potenciales promedio utilizando un potenciómetro como sistema de medición con una confianza del 98%.

II. Halogenuros (cloruros)

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	223.4263158	234.3578947
2	240.3	221.7526316
3	232.9736842	213.9368421
4	233.4736842	216.5526316
5	232.4842105	213.0842105
6	240.2947368	221.8210526
7	244.6947368	226.2631579
8	244.2631579	223.7368421
9	242.2	221.3210526

media	237.1233918	221.4251462
D. STD	7.016891027	6.573321156
varianza	49.23675968	43.20855102

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	16	g.l	17.9153
valor de "t" calculado	-1.3422	valor de "t" calculado	-1.3422
valor critico superior	2.55	valor critico superior	2.5683
valor critico inferior	-2.55	valor critico inferior	-2.5683

$$-2.58 < -1.3422 < 2.58$$

$$-2.5683 < -1.3422 < 2.5683$$

Se concluye que en la valoración de cloruro de potasio con nitrato de plata, los potenciales promedio obtenidos empleando un multímetro como sistema de medición, son iguales a los potenciales promedio empleando un potenciómetro como sistema de medición con un nivel de confianza del 98%.

II. Halogenuros (bromuros)

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	126.1611111	149.6833333
2	60.70555556	129.9833333
3	71.45	143.0666667
4	66.46111111	137.5555556
5	71.01666667	143.7833333
6	68.35555556	128.6833333
7	72.01666667	131.3777778
8	70.28333333	128.2333333
9	73.79444444	133.6222222

Media	75.58271605	136.2209876
D. STD	19.35479819	7.720149495
Varianza	374.6082131	59.60070823

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	16	g.l	11.1034
valor de "t" calculado	-1.5315	valor de "t" calculado	-1.5315
valor critico superior	2.58	valor critico superior	2.6841
valor critico inferior	-2.58	valor critico inferior	-2.6841

$$-2.58 < -1.5315 < 2.58$$

$$-2.6638 < -1.5315 < 2.6638$$

Se concluye que en la valoración de bromuro de potasio con nitrato de plata, los potenciales promedio obtenidos empleando un multímetro como sistema de medición, son iguales a los potenciales promedio empleando un potenciómetro como sistema de medición con un nivel de confianza del 98%.

Halogenuros (yoduros)

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	11.15	7.361111111
2	6.711111111	2.933333333
3	10.83888889	5.644444444
4	9.011111111	3.622222222
5	7.383333333	1.15
6	38.57777778	30.68333333
7	12.93333333	6.061111111
8	10.37777778	1.705555556
9	43.30555556	30.08333333

Media	16.69876543	9.916049382
D. STD	13.92615938	11.7806022
Varianza	193.937915	138.7825883

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	16	g.l	17.4651
valor de "t" calculado	1.1155	valor de "t" calculado	1.1155
valor critico superior	2.58	valor critico superior	2.5746
valor critico inferior	-2.58	valor critico inferior	-2.5746

$$- 2.58 < 1.1155 < 2.58$$

$$-2.5746 < 1.1155 < 2.5746$$

Se concluye que en la valoración de yoduro de potasio con nitrato de plata los potenciales promedio obtenidos empleando un multímetro como sistema de medición, son iguales a los potenciales promedio empleando un potenciómetro como sistema de medición en un intervalo del 98%.

Halogenuros (mezcla de cloruros, bromuros y yoduros)

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	48.61764706	49.91176471
2	46.30882353	47.95
3	53.22647059	55.88823529
4	55.7	55.85882353
5	60.00882353	61.52647059
6	44.93235294	47.79117647
7	56.71176471	59.08235294
8	46.25588235	49.63235294
9	45.28235294	48.85588235

Media	50.78267974	52.94411765
D. STD	5.702000735	5.206590597
Varianza	32.51281238	27.10858564

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	18	g.l	19.8207
valor de "t" calculado	0.8397	valor de "t" calculado	0.8397
valor critico superior	2.55	valor critico superior	2.5382
valor critico inferior	-2.55	valor critico inferior	-2.5382

$$-2.55 < 0.8397 < 2.55$$

$$-2.5382 < 0.8397 < 2.5382$$

Se concluye que en la valoración de la mezcla de halogenuros con nitrato de plata los potenciales promedio obtenidos, empleando un multímetro como sistema de medición, son iguales a los potenciales promedio empleando un potenciómetro como sistema de medición con un intervalo de confianza del 98%.

Complejometría

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	338.9125	336.7125
2	335.6625	335.31875
3	344.39375	341.475
4	344.6375	341.6125
5	340.45	338.00625
6	344.91875	343.425
7	340.2875	340.20625
8	340.29375	338.1
9	333.30625	333.3

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	16	g.l	17.2299
valor de "t" calculado	0.9446	valor de "t" calculado	0.9446
valor critico superior	2.58	valor critico superior	2.5723
valor critico inferior	-2.58	valor critico inferior	-2.5723

$$-2.12 < 0.9446 < 2.12$$

$$-2.5723 < 0.9446 < 2.5723$$

De igual forma, en la valoración de sulfato ferroso amoniacal y sulfato férrico valorados con EDTA, los potenciales promedio obtenidos empleando un multímetro como sistema de medición son iguales a los potenciales promedio empleando un potenciómetro como sistema de medición con un intervalo de confianza del 98%.

Ácido-base

Datos promedio potenciómetro y multímetro

# evento	Prom. potenciómetro	Prom. multímetro
1	142.185	137.35
2	172.86	164.88
3	169.65	164.75
4	164.71	176.07
5	143.72	186.68
6	161.215	93.98
7	115.38	73.045
8	167.12	140.77
9	164.405	172.275

Distribución t de Student con un nivel de confianza del 98%

g.l	16	g.l	14.3390
valor de "t" calculado	0.7076	valor de "t" calculado	0.7076
valor critico superior	2.58	valor critico superior	2.6233
valor critico inferior	-2.58	valor critico inferior	-2.6233

$$-2.58 < 0.7076 < 2.58$$

$$-2.6233 < 0.7076 < 2.6233$$

De igual forma en la cuantificación de ácido nítrico valorado con hidróxido de sodio, los potenciales promedios obtenidos empleando un multímetro como sistema de medición son iguales a los potenciales promedios, empleando un potenciómetro como sistema de medición en un intervalo del 98.

Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano

Synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles toward arsenic removal from drinking water

Ricardo Starbird-Pérez¹, Virginia Montero-Campos²

Fecha de recepción: 25 de noviembre del 2014

Fecha de aprobación: 3 de marzo del 2015

Starbird-Perez, R; Montero-Campos, V. Síntesis de nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para la remoción de arsénico del agua de consumo humano. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 45-54.

1 Laboratorio Institucional de Nanotecnología. Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos- CEQIATEC, Costa Rica. Correo electrónico: rstarbird@itcr.ac.cr

2 Laboratorio Institucional de Nanotecnología. Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos- CEQIATEC, Costa Rica. Correo electrónico: vmontero@itcr.ac.cr

Palabras clave

Aguas contaminadas; arsénico; nanopartículas de hierro.

Resumen

El objetivo de este estudio consiste en proveer un material de alta área de contacto, para ser empleado en el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico. Se reporta la síntesis de nanopartículas de hierro con propiedades superparamagnéticas, estabilizadas con ácido esteárico, así como su respectiva caracterización a través de técnicas espectrofotométricas, termogravimétricas y transmisión electrónica, siendo evidente que la presencia de un emulsificante es determinante para la estabilización de la fase del óxido de hierro (maghemita o magnetita) con propiedades magnéticas. El material obtenido muestra adecuadas propiedades para ser utilizado en el tratamiento de agua de consumo humano.

Keywords

Water sources; arsenic; iron nanoparticles.

Abstract

The aim of this study is to provide a material with large contact area, to be used in the removal of arsenic from water sources. This work report on the synthesis of iron nanoparticles with superparamagnetic properties, stabilized using stearic acid and their respective characterization by infrared spectrophotometric, thermogravimetric and electronic transmission techniques. The presence of an emulsifier is decisive for the stabilization of iron oxide phase (maghemite or magnetite) with magnetic properties. The resulting material shows promissory properties to be used for drinking water treatment.

Introducción

La nanotecnología puede ser aplicada en la resolución o mejoramiento de problemas relacionados con la calidad del agua, siendo la síntesis de nanopartículas una alternativa a estudiar. Es posible proveer soluciones a problemas del agua mediante la remoción de contaminantes tales como bacterias, virus, metales pesados o plaguicidas (Yean, 2008). Este tipo de alternativas en el tratamiento del agua se reconocen como económicas, eficaces, eficientes y sostenibles. Su uso permite que los procesos de tratamiento sean menos contaminantes en comparación con los métodos tradicionales; además, en general, se necesita menos mano de obra, capital y energía.

Específicamente, en las aplicaciones destinadas al tratamiento de agua de consumo humano contaminada con arsénico se han utilizado nanopartículas magnéticas de óxido de hierro para adsorber al contaminante y, posteriormente ser removidas aplicando campos magnéticos externos. En este sentido, se han presentado aplicaciones hasta pruebas de laboratorio, a nivel de dispositivos magnéticos aplicados, actualmente se encuentran solo bajo patentes.

Las nanopartículas magnéticas de óxido de hierro son susceptibles a la oxidación por el aire durante la síntesis o al ser agregadas a un sistemas acuosos (Kadokia, 2008), perdiendo su propiedad magnética. El control del tamaño y la polidispersidad son muy importantes debido a que las propiedades de los nanocristales dependen fuertemente de la dimensión de las nanopartículas; sólo partículas de magnetita con un tamaño menor de 30 nanómetros exhiben

propiedades superparamagnéticas que las hacen propensas a los campos magnéticos (Luciano-Carlos, F., García-Einschlag, M., González-Mártire, 2013).

El carácter magnético de la estructura del óxido de hierro varía de la hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y de magnetita (Fe_2O_4). Las condiciones de síntesis tienen un efecto en la estructura final del óxido de hierro (Teja & Koh, 2009), siendo indispensable el uso de un emulsificante durante la síntesis en fase líquida para estabilizar la fase de magnetita. Este emulsificante provee alternativas para posibles modificaciones estructurales, además de estabilizar las nanopartículas de hierro con diámetros menores a los 20 nanómetros, dado que en este rango muestran comportamientos super-paramagnéticos a temperatura ambiente (Teja & Koh, 2009).

Dependiendo de la aplicación, se encuentran en la literatura varios métodos para sintetizar nanopartículas magnéticas, por ejemplo: coprecipitación, micelas inversas, tecnología de micro-emulsión, síntesis sol-gel, reacciones hidrotérmicas, reacciones de hidrólisis y termólisis, síntesis de inyección de flujo (Laurent et al., 2008).

En este trabajo se utilizó la técnica de coprecipitación con emulsión por inversión de fases, junto con su caracterización por medio de rayos X, termo-gravimetría, microscopía de transmisión electrónica y espectroscopia de infrarrojo (FTIR y Raman). Todas estas técnicas confirman la naturaleza magnética de las partículas de hierro y su estabilización a nano-escala.

Materiales y métodos

Materiales

Se utilizaron sales de hierro como cloruro de hierro (II)·4 H₂O y cloruro de hierro (III) ·6 H₂O de la casa comercial MERCK usados tal y como se recibieron. Solventes como isopropanol (Grado de síntesis, Merck), metanol (grado HPLC, Merck), tetrahidrofurano (Grado de síntesis, MERK) y nitrógeno (ultra alta pureza 99,999%), amoníaco (grado de síntesis) y ácido esteárico (Grado industrial 90 %) fue recristalizado en isopropanol antes de ser utilizado.

Método

La síntesis de las nanopartículas se basó en la metodología reportada por Moore et al, con algunas modificaciones (Moore, Evans, Shen, & Hodson, 2001). Básicamente se tomaron 1,14 gramos (4,2 mmoles) de FeCl₃ y se disolvieron en 75 ml de isopropanol, previamente purgado con nitrógeno (99,999%) y se mantiene con agitación constante a 50 °C. A esta disolución de hierro (III) se le agregó 0,47 gramos (2,4 mmoles) de FeCl₂, manteniendo una proporción Fe³⁺/Fe²⁺ 2:1 por 40 minutos. Luego, se añadió amoníaco acuoso, gota a gota, no más de 1 ml, dándose la precipitación de un sólido negro. Estas partículas debieron de ser lavadas con metanol, usando un imán o centrifugación para promover la sedimentación. Se mezclaron 284 mg de ácido esteárico en 50 ml de metanol y se agrega esta disolución a las partículas lavadas. Esta mezcla se colocó en un baño ultrasónico por 5 minutos para promover la formación y estabilización de las micelas. Finalmente, se disuelven las partículas en tetrahidrofurano (THF).

Análisis

La espectroscopia de Raman y de transmisión de infrarrojo (FTIR) fueron llevados a cabo en un equipo Thermo DXR (láseres de 780 y 532 nm) y un Thermo Nicolet 380, respectivamente. El análisis termogravimétrico se realizó en un equipo TA modelo SDTQ600, a 10 °C/min en

atmósfera inerte de nitrógeno con un flujo de 10 ml/min. Mientras que el análisis de difracción de rayos X se realizó en un PANalytical modelo Empyrean. Finalmente las micrografías de transmisión electrónica se obtuvieron en un Microscopio Electrónico JEOL modelo Jem-2100, con un potencial de 100 kV.

Resultados

La disolución de sales de hierro Fe^{3+}/Fe^{2+} presenta un color naranja que cambia con la formación un precipitado negro al agregar el amoníaco en atmósfera de nitrógeno, como se muestra en la reacción de la figura 1,a.. Este precipitado (óxido de hierro) es sensible a campos magnéticos (fase magnetita). La muestra fue lavada con metanol y estabilizada con ácido esteárico. La presencia de oxígeno tiene un efecto en la síntesis, favoreciendo la fase de hematita (color naranja), con propiedades paramagnéticas. El cambio de fase se puede dar en ausencia del ácido esteárico (surfactante), por lo que la estabilización de las nanopartículas es fundamental, para mantener naturaleza magnética de las partículas. Se espera, dada la interacción con el solvente polar (metanol), que la cola del surfactante este aglomerada (figura 1,b) pero al cambiar el solvente a tetrahidroxifurano (THF) (figura 1,c) se da una inversión de fases, dado que colas del ácido carboxílico se solventarán dispersando más eficientemente las nanopartículas (figura 1,b).

El THF puede ser fácilmente evaporado, permitiendo realizar análisis de composición y estructura a las nanopartículas tal como se muestra en la figura 1.

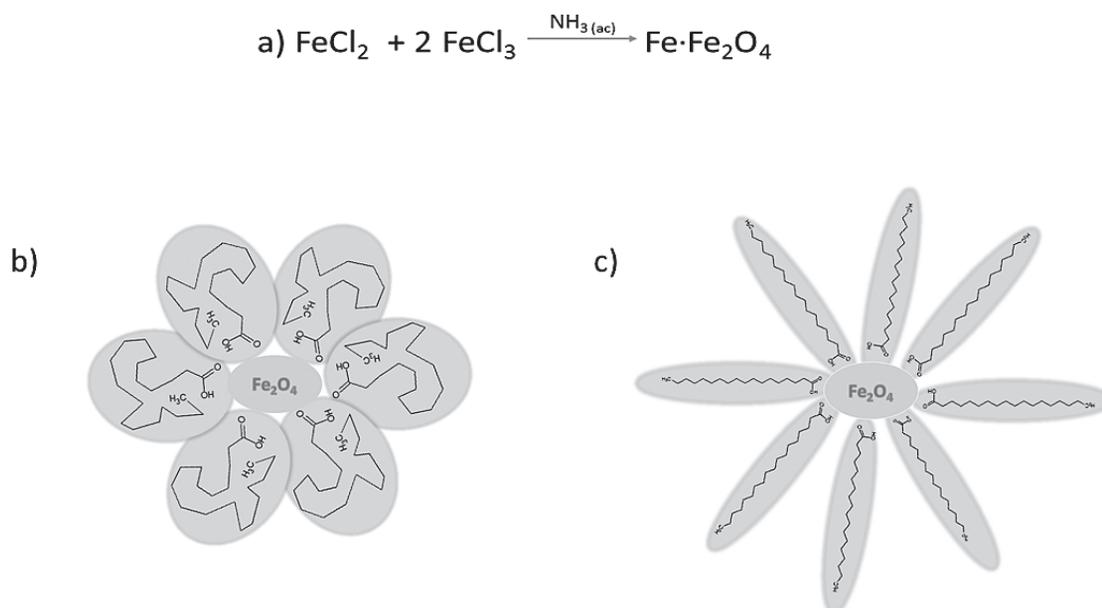


Figura 1. a) reacción para la formación de óxido de hierro, b) partícula estabilizada por ácido esteárico en propanol (solvente polar) y c) partícula estabilizada en tetrahidrofurano.

Respecto a la composición química, la difracción de rayos x (figura 2,a) coincide con los datos reportados por Sun en el 2002 (Sun & Zeng, 2002), utilizando una fuente de radiación de cobalto. En las muestras estabilizadas con ácido esteárico evidencian señales a 22, 36, 42, 51, 68 y 75 grados, que coinciden con los valores reportados para las nanopartículas de hierro (Sun & Zeng, 2002). El difractograma de las nanopartículas presenta ruido, apreciable respecto a la

muestra de hematita pura (figura 2,b). Esto se puede deber a la presencia del emulsificante, rico en señales en la misma región (véase figura 2,c).

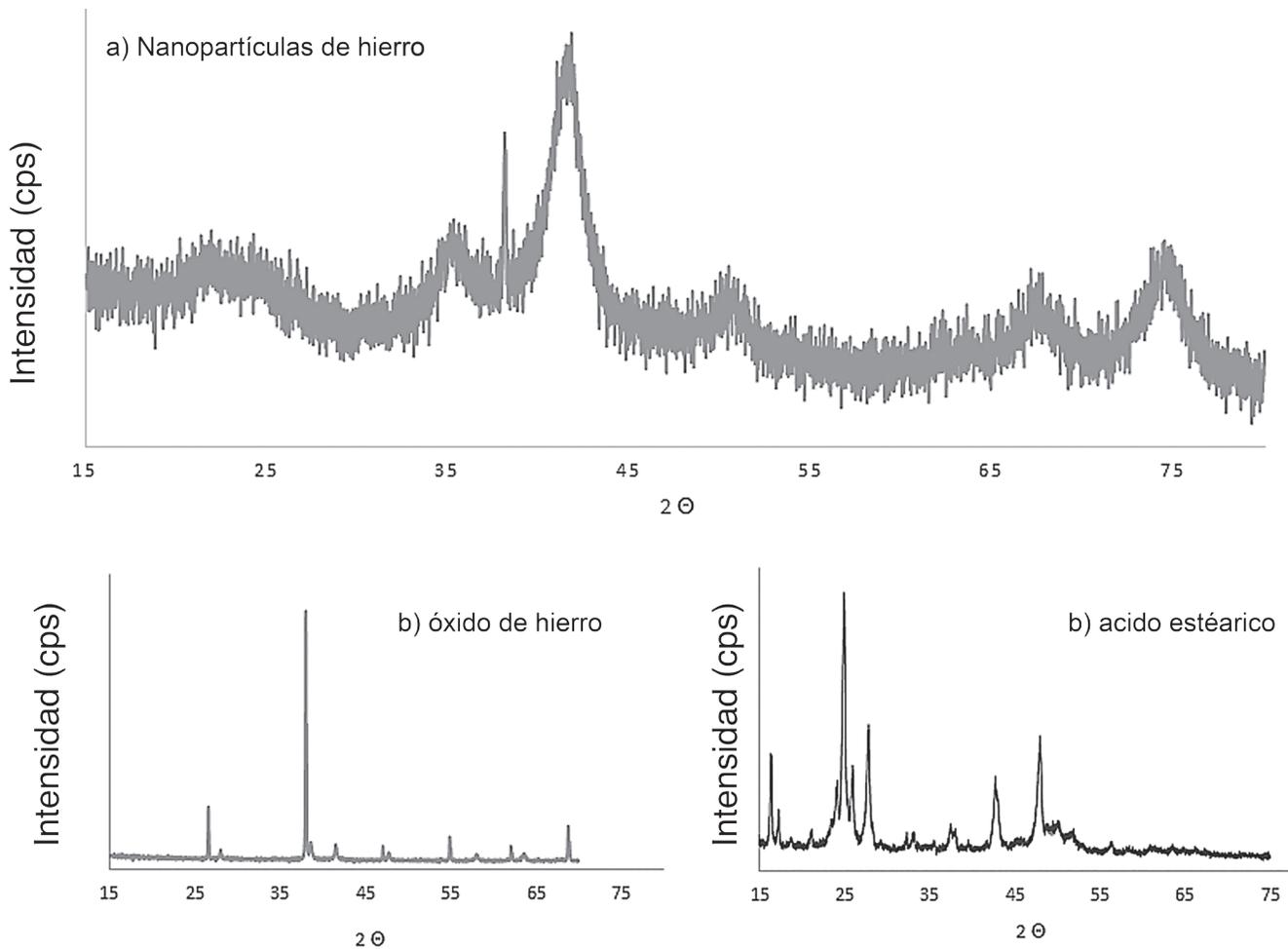


Figura 2. Difractometría de rayos x, para la magnetita (a) y para el hematita (b) obtenida utilizando la misma metodología pero en ausencia de emulsificante (c).

La naturaleza de la sustancia fue confirmada utilizando espectroscopia de Raman, la muestra de referencia óxido de hierro (hematita) (figura 3,b) muestra señales fuertes a 226, 292 y 409 cm^{-1} , la relación de intensidad entre las señales 226/292 cm^{-1} en la hematita indican alguna heterogeneidad y cristalinidad a micro-escala (Chourpa et al., 2005); mientras tanto la muestra de magnetita presenta picos no resueltos a 671 y 712 cm^{-1} (figura 3,a) ausentes en la muestra de hematita y que coinciden con la señal de la magnetita pura (de Faria, Silva, & de Oliveira, 1997) (Shebanova & Lazor, 2003).

El análisis termogravimétrico (fig. 4,a) demuestra la presencia de aproximadamente 3% de contenido de agua en la muestra, posiblemente proviene del agua atrapada en la nano-partícula durante el proceso de síntesis. La temperatura inicial de descomposición (onset) a 180 °C, con un máximo pico de descomposición de 290 °C coincide con el proceso de descomposición del ácido esteárico utilizado como emulsificante (ver figura 4,b). Existe un segundo proceso térmico a 317 °C con un pico máximo de descomposición de 380 °C, asociado al cambio de fase del óxido de hierro (de FeOOH a Fe_2O_3) (Feng, 1993). En la composición de las nanopartículas se puede estimar que alrededor de un 9% pertenece al ácido esteárico (dado que se descompone

completamente a 300 °C), mientras que debido a la pérdida de agua asociado al cambio de fase del óxido de hierro, se pierde aproximadamente un 11% de la masa, dejando cenizas de un 70% que corresponden al óxido de hierro.

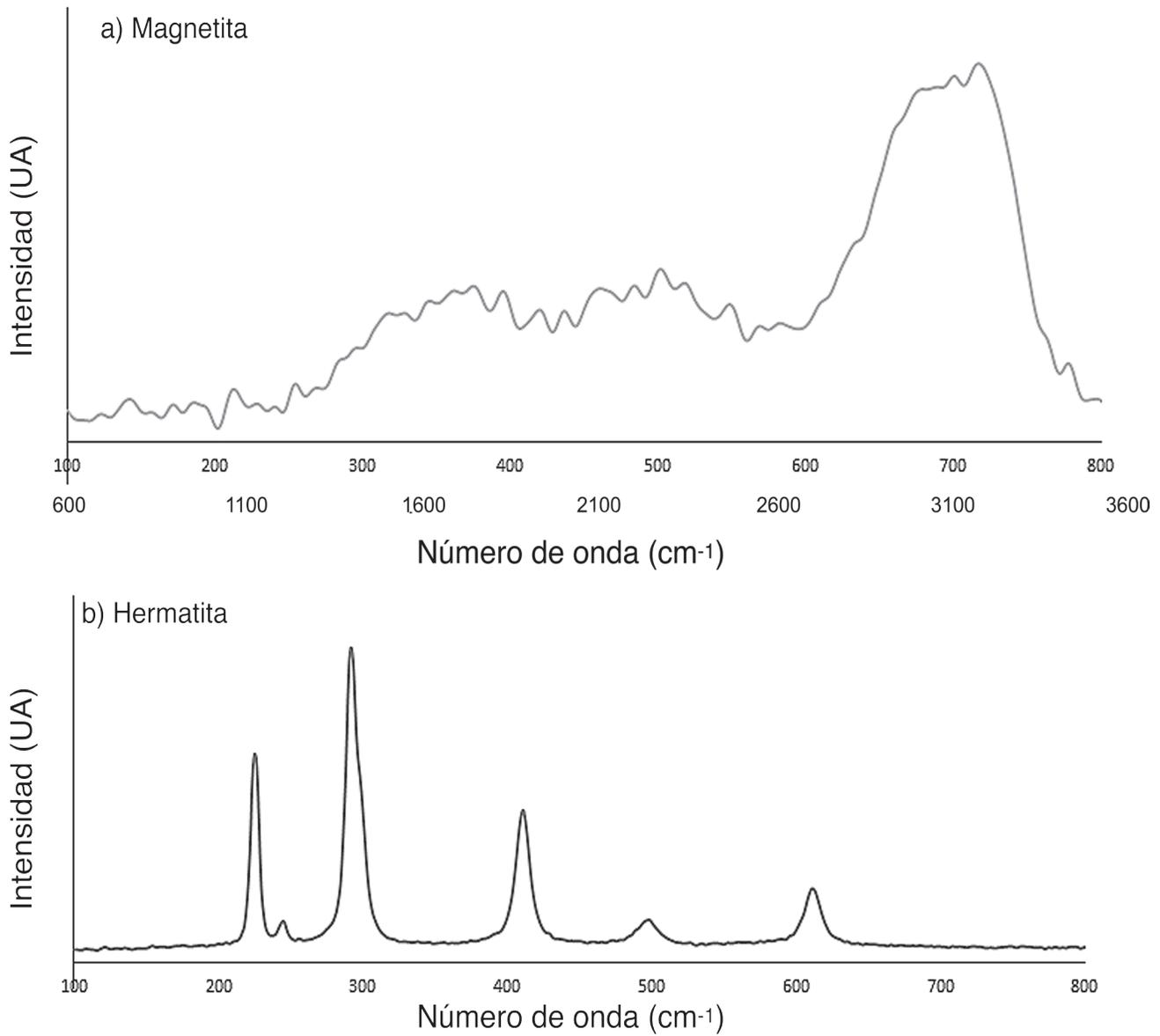


Figura 3. Espectroscopia de Raman de las nanopartículas magnéticas de hierro estabilizadas con ácido esteárico (a) y la hematita obtenida utilizando la misma metodología en ausencia de surfactante (b).

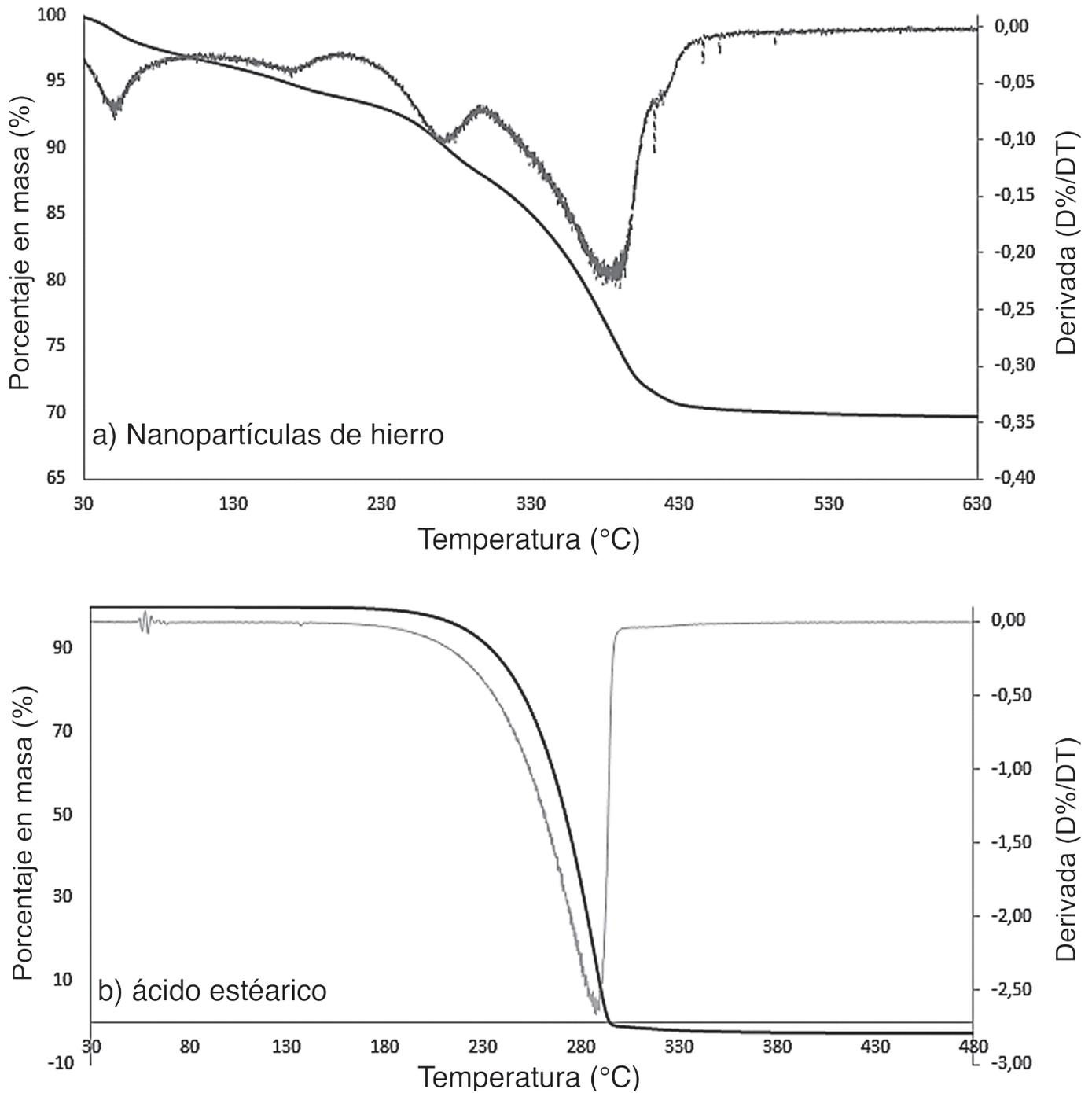


Figura 4. Termogramas de las nanopartículas de hierro estabilizadas con ácido esteárico (a) y del ácido esteárico recristalizado (b).

La interacción entre el óxido de hierro y el ácido carboxílico fue reportada por Zhang en 2006, ellos indican que mediante espectroscopia de infrarrojo (FTIR) es posible observar la interacción entre óxido de hierro y el grupo carboxilo del ácido esteárico, utilizado como emulsificante (Zhang, He, & Gu, 2006). Mediante la espectroscopia de infrarrojo es posible apreciar la pérdida de la banda a 1697 cm^{-1} (ver figura 5, curva superior), correspondiente a la señal del ácido esteárico y casi desaparece cuando se analiza en las nanopartículas

estabilizadas (ver figura 5, curva inferior). Lo que confirma la interacción de las nanopartícula con el grupo carboxílico del emulsificante. Además es posible observar la presencia de una señal ancha entre los 3000 y 3600 cm^{-1} , debido a agua retenida durante la síntesis observada en el análisis termogravimétrico.

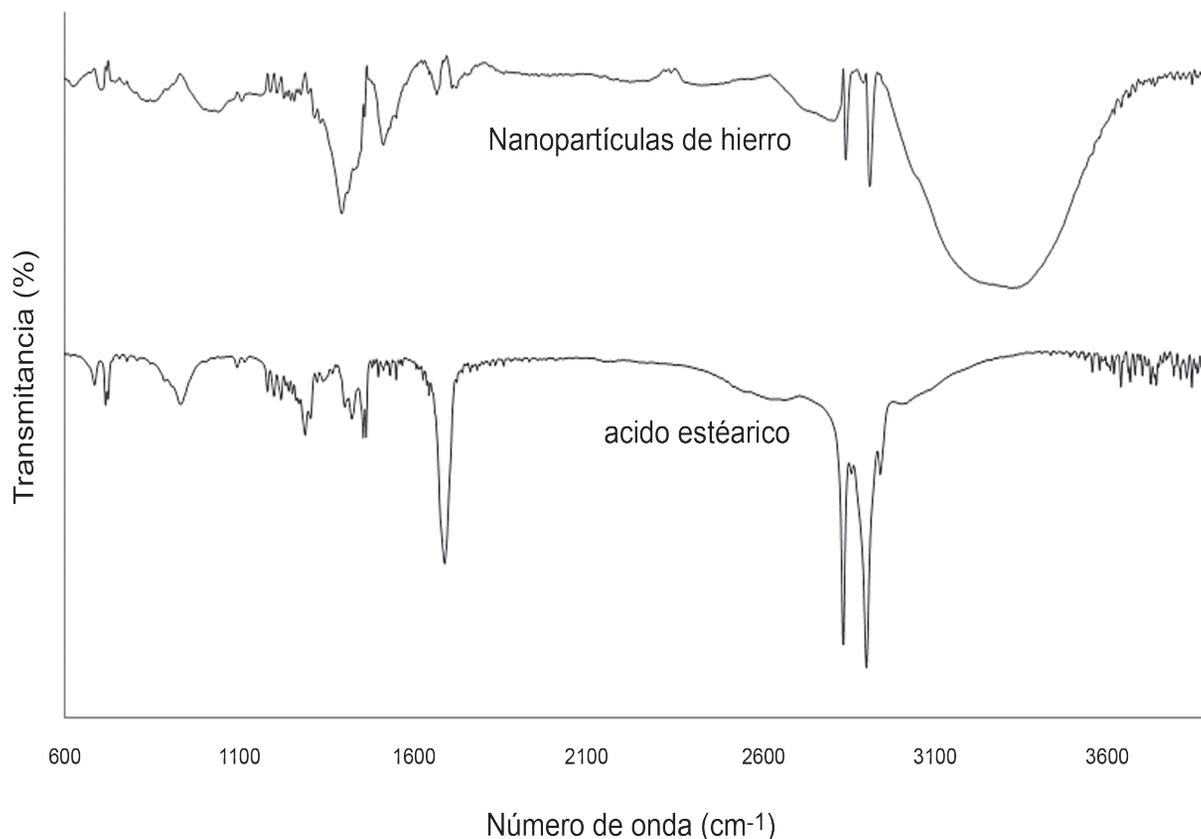


Figura 5. espectro de infrarrojo de las nanopartículas magnéticas de hierro estabilizadas con ácido esteárico (arriba) y el ácido esteárico recristalizado (abajo).

Finalmente el análisis de la nanoestructura se realizó por microscopía de transmisión electrónica (figura 6), que permite observa partículas en el rango de los 150 nanómetros. El tamaño de las partículas está definido por el surfactante, que funciona como matriz y presenta una interaccionando con el óxido de hierro, como demuestra la técnica de FTIR. Las variaciones en la concentración y/o el material van a tener un efecto en la forma final de la nanopartícula, de allí la importancia de continuar la investigación en las variables que afectan la síntesis, para lograr un mayor control en las propiedades finales de las nanopartículas.

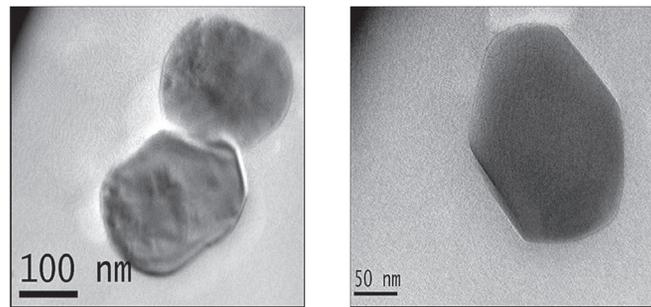


Figura 6. Imágenes de transmisión electrónica (TEM) de las nanopartículas de hierro estabilizadas por el ácido esteárico.

Conclusiones

Es posible sintetizar nanopartículas de hierro en el rango de los 150 nanómetros con propiedades magnéticas, por inversión de fases, empleando ácido esteárico como estabilizador. El grupo carboxilo del ácido esteárico muestra una interacción con las partículas de hierro, lo que permite mantener la fase magnetita estable y con esto conservar las propiedades magnéticas. Estas partículas pueden ser usadas en la remoción de contaminaciones del agua o como aditivo en otras aplicaciones.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a Teodolito Guillén Girón de la Escuela de Materiales por los análisis de difracción de rayos X. A Luis Fernando Alvarado del Laboratorio Institucional de Nanotecnología por las imágenes de las partículas; además, el apoyo de Dionisio Gutiérrez Fallas y Laura Rojas Rojas en la obtención de los espectros de Raman. Finalmente, a Ana Lucía Moya por sus labores como asistente.

Referencias

- Chourpa, I., Douziech-Eyrolles, L., Ngaboni-Okassa, L., Fouquenot, J.-F., Cohen-Jonathan, S., Soucé, M., ... Dubois, P. (2005). Molecular composition of iron oxide nanoparticles, precursors for magnetic drug targeting, as characterized by confocal Raman microspectroscopy. 1395–1403. doi:10.1039/b419004a.
- De Faria, D. L. A., Silva, S. V., & de Oliveira, M. T. (1997). Raman microspectroscopy of some iron oxides and oxyhydroxides. 873–878. doi:10.1002/(SICI)1097-4555(199711)28:11<873::AID-JRS177>3.0.CO;2-B.
- Feng, Z. (1993). Agglomeration and Phase Transition of a Nanophase Iron Oxide Catalyst. (2), 510–519. doi:10.1006/jcat.1993.1294.
- Kadokia, K. (2008). Removal of Arsenic Contamination from Water Using Magnetite Nanoparticles | The National High School Journal of Science. Retrieved from <http://nhsjs.com/2012/removal-of-arsenic-contamination-from-water-using-magnetite-nanoparticles/>.
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L., & Muller, R. N. (2008). Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications. (6), 2064–110. doi:10.1021/cr068445e.
- Luciano-Carlos, F., García-Einschlag, M., González-Mártire, D. (2013). (F. S. Garca Einschlag, Ed.). InTech. doi:10.5772/3443.
- Moore, R. G. ., Evans, S. ., Shen, T., & Hodson, C. E. (2001). Room-temperature single-electron tunnelling in surfactant stabilised iron oxide nanoparticles. (2), 253–261. doi:10.1016/S1386-9477(00)00279-4.

- Shebanova, O. N., & Lazor, P. (2003). Raman spectroscopic study of magnetite (FeFe₂O₄): A new assignment for the vibrational spectrum. 424–430. doi:10.1016/S0022-4596(03)00294-9.
- Sun, S., & Zeng, H. (2002). Size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles., 8204–8205. doi:10.1021/ja026501x.
- Teja, A. S., & Koh, P.-Y. (2009). Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. doi:10.1016/j.pcrysgrow.2008.08.003.
- Yean, S. J. (2008). Rice University. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1911/22252>.
- Zhang, L., He, R., & Gu, H. C. (2006). Oleic acid coating on the monodisperse magnetite nanoparticles. 2611–2617. doi:10.1016/j.apsusc.2006.05.023.

Evaluación de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos

Water quality evaluation in Tigre and Rincón rivers of península de Osa in two different periods of time

Guillermo Calvo-Brenes¹, Jesús Mora-Molina²

Fecha de recepción: 12 de diciembre del 2014

Fecha de aprobación: 18 de marzo del 2015

Calvo-Brenes, G; Mora-Molina, J. Evaluación de la calidad del agua en los ríos Tigre y Rincón de la península de Osa en dos períodos de tiempo distintos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 55-63.

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

Palabras clave

Contaminación de ríos; coliformes fecales; índice de calidad de agua; Índice Holandés; río Rincón; río Tigre; península de Osa; Costa Rica.

Resumen

La península de Osa es una zona que se caracteriza por una alta biodiversidad, tanto en su flora como en su fauna. El recurso hídrico no solo es un indicador de la condición económica y social de una región, sino que está estrechamente ligada con la protección de su flora y su fauna. Costa Rica es un país privilegiado por la cantidad de ríos y mantos acuíferos que posee; sin embargo, el incremento en los niveles de contaminación que estos han experimentado es preocupante y la península de Osa no escapa a esta realidad nacional.

El objetivo del estudio fue evaluar la calidad en dos ríos importantes de la península: el Tigre y el Rincón, en dos períodos de tiempo diferentes para verificar si la calidad del agua ha cambiado a lo largo del tiempo evaluado. Los niveles de contaminación se determinaron por medio del Índice Holandés y también por su contenido en coliformes fecales. En cada uno de los ríos se evaluó la parte alta y la baja ya que las condiciones socioambientales son diferentes. Los periodos evaluados fueron el 2008-2009 y el 2010-2011. Además, los datos recolectados se segregaron en dos épocas: la lluviosa y la seca, con el fin de facilitar el análisis estadístico empleando el programa de cómputo estadístico SPSS.

Se encontró que el contenido de coliformes fecales durante la época seca es tal que permite el uso de esos ríos para actividades recreativas de contacto primario en ambos períodos de tiempo evaluados. En cambio, en la época de invierno, el contenido de coliformes fecales superó los niveles de permisibilidad para poder efectuar actividades recreativas en el año 2009. En el caso del invierno del 2011, los niveles de coliformes fecales estuvieron por debajo del nivel máximo de permisibilidad para tal uso, excepto para el río Tigre, en su zona alta en el mes de julio, y para el mismo río en su zona baja en el de Junio, que tuvieron valores no aptos para practicar la natación.

El nivel de contaminación de los puntos muestreados, según el Índice Holandés, oscila entre niveles de No Contaminación hasta Contaminación Leve. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre la época de invierno y la de verano, o entre los períodos de tiempo evaluados del 2008-2009 y el 2010-2011, dada la variabilidad de los datos entre épocas por punto de muestreo en un período dado. La única excepción es el punto del río Tigre en su zona baja (Ti-3) que sí presenta un incremento estadístico en los niveles de contaminación, entre un período y otro, durante la época de invierno.

Keywords

River contamination; Fecal Coliforms; water quality index; Dutch Index; Rincón river; Tigre river; península of Osa; Costa Rica.

Abstract

Península of Osa is a region characterized by a high biodiversity in plants and animals, as well. Hydric resources are not only an indicator of economic and social condition of a region but also related to protection of plants and animals. Costa Rica is privileged by the many rivers and ground waters it has; but the contamination levels are increasing alongside and península of Osa does not scape to that country reality.

The objective of this research was to evaluate the quality of two important rivers of the peninsula: Tigre and Rincón rivers in two different periods of time in order to verify if rivers quality has changed during the time evaluated. Contamination levels were determined by the Dutch Index and Fecal Coliforms content in waters. On each river the evaluation was done in the upper side and the lower side since social and environmental conditions are different. The periods of time selected for evaluation were 2008-2009 and 2010-2011. Besides, data collected was separated in two seasons: summer and winter, so that statistical analysis can be performed using the statistical software SPSS.

It was found that Fecal Coliforms content during summer time is such that recreational activity of first contact is allowed in those two periods of time. On the other hand, the Fecal Coliforms content during winter of 2009 exceeded the limits so recreational activity is not allowed. In general, the Fecal Coliforms content in 2011 were below the limits, except for the upper side area in July for Tigre river (Ti-1) and the lower side area in June for Tiger river (Ti-3).

The contamination levels of each sampled zones ranges the No Contamination level and Little Contamination level when evaluated through the Dutch Index. Statistical analysis does not show any statistical difference between summer and winter or between time periods (2008-2009 and 2010-2011). The only exception is the lower side of Tigre river (Ti-3) that shows a statistical increase in the contamination level between the two time periods evaluated during winter.

Introducción

la península de Osa está localizada en la costa suroeste del océano Pacífico y se caracteriza por poseer una biodiversidad alta, raramente encontrada en un lugar pequeño. Aproximadamente un tercio de las especies de árboles existentes en Costa Rica se han registrado en la región incluyendo la mitad de las especies de árboles amenazadas en el país. Se estima que existen entre 4000 y 5000 especies de plantas vasculares en la península. La variedad de fauna es extraordinariamente rica: se han registrado unas 375 especies de aves, 124 especies de mamíferos, 40 especies de peces de agua dulce y, aproximadamente, 8000 especies de insectos. Las especies registradas en la región representan entre el 30%-50% de todas las especies conocidas en el país (Rosero, Maldonado y Bonilla, 2007). Algunos expertos identifican en la península tres zonas de vida y cuatro transiciones: Bosque Húmedo Tropical, Bosque Húmedo Tropical transición a Prehúmedo, Bosque muy Húmedo Tropical, Bosque muy Húmedo Tropical transición a Premontano, Bosque muy Húmedo Premontano transición a Basal, Bosque Pluvial Premontano y Bosque Pluvial Premontano transición a Basal (Fundación Neotrópica, 1992). Basado en los atributos ecológicos claves como objetos de conservación de la región se distinguen las siguientes categorías: Bosque Basal Lluvioso del Pacífico, Bosque Nuboso, Bosques Anegados, Manglares, Ecosistemas Lóticos, Ecosistemas Lénticos y Felinos Grandes (Ugalde et al, 2007).

El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. El agua es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida sino, también, para la conservación de la flora y fauna en una región, lo que representa, en algunos casos, el atractivo turístico de la zona (Sánchez, 2009). La Organización Mundial de la Salud ha dicho que el 80% de las enfermedades del mundo se debe a problemas con el agua (AyA, 2003; OMCO, 2010; FAO, 2011). La tifoidea, el cólera, la disentería, la diarrea y la hepatitis infecciosa son cinco enfermedades que se transmiten por agua contaminada o por lavar alimentos, utensilios y manos en ella (OMS, 2009). La malaria y la fiebre amarilla son enfermedades transmitidas por vectores que se crían en el agua (OMS, 2011).

Costa Rica es un país privilegiado por la cantidad de ríos y mantos acuíferos que posee. Desafortunadamente, los niveles de contaminación de los ríos que atraviesan zonas de alta densidad poblacional, son altos (Calvo y Mora, 2007).

El objetivo de la investigación es evaluar el cambio en la calidad del agua que se han dado en dos períodos distintos: 2008-2009 y 2010-2011. El análisis de la calidad del agua se llevó a cabo por medio del Índice Holandés de evaluación de la calidad del agua, el cual clasifica la calidad del agua en 5 clases, de acuerdo a la legislación costarricense (MINAE, 2007). También se evaluó el contenido de coliformes fecales (CF), un indicador muy importante de nuestra legislación que establece como límite contenidos máximos de 1000 CF para que el agua se pueda usar con fines recreativos de contacto primario, como lo es la práctica de la natación.

Metodología

el estudio se llevó a cabo en dos subcuencas que forman parte de la península de Osa: la del río Tigre y la del río Rincón (figura 1). En cada subcuenca se muestreó el río principal en su zona alta, lo más cerca posible de la naciente del río; así como en su zona baja, cerca de la desembocadura. Las zonas altas y bajas en ese sector del estudio tienen características geomorfológicas y socioambientales diferentes. La zona alta en cada una de estas subcuencas se caracteriza por pendientes altas, densidad poblacional nula y alta cobertura vegetal que forma parte del Parque Nacional Corcovado. En cambio, las zonas bajas se caracterizan por ser de pendiente muy baja, densidad poblacional baja y uso del suelo con fines agrícolas, aunque también existe cobertura boscosa en esta zona baja.

Las muestras recolectadas en el río Rincón se codificaron como R1 (zona alta) y R3 (zona baja); mientras que el río Tigre se clasificaron como Ti 1 (zona alta) y Ti3 (zona baja).

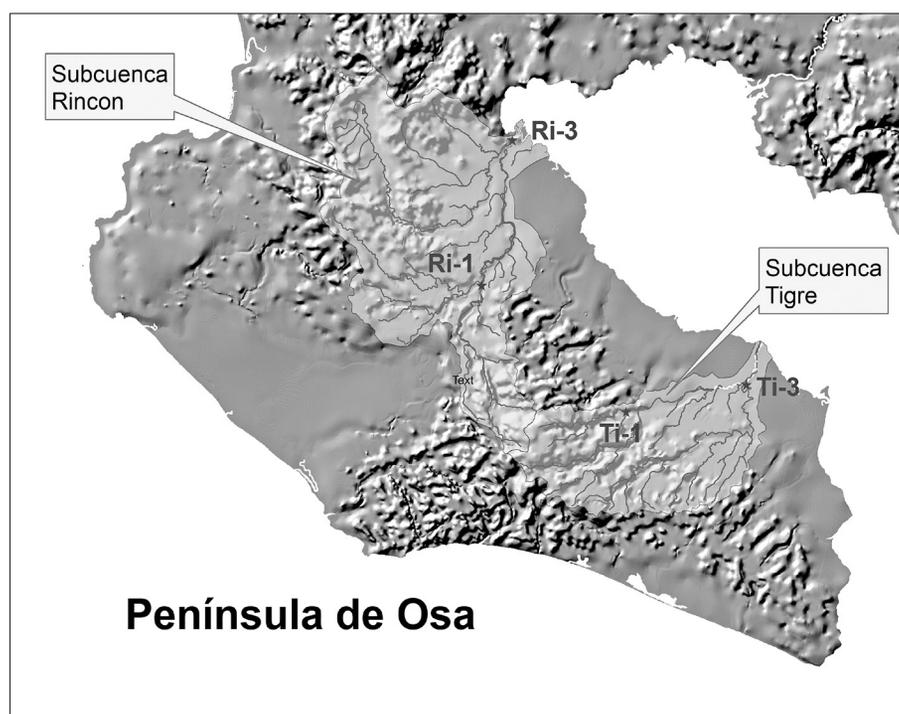


Figura 1. Subcuencas seleccionadas pertenecientes a la península de Osa. Fuente: Mapa elaborado por Guillermo Calvo, 2014.

La localización geográfica de los puntos de muestreo se indica en el cuadro 1.

Cuadro 1. Georreferenciación y características de los puntos de muestreo en la península de Osa

Puntos de muestreo	Coordenadas geográficas		Altitud (m)	Densidad poblacional (hab/km ²)	Características
	Latitud norte	Longitud oeste			
Ri-1	8°36'11.78"N	83°29'48.84"W	37	0	Baja densidad poblacional. Cobertura boscosa alta.
Ri-3	8°41'23.41"N	83°28'40.95"W	24	2	Cobertura boscosa media Actividad agrícola alta
Ti-1	8°31'39.77"N	83°24'32.97"W	108	4	Baja densidad poblacional. Cobertura boscosa alta.
Ti-3	8°32'37.45"N	83°20'8.77"W	0	0	Cobertura boscosa media Actividad agrícola alta

La evaluación de la calidad de las aguas se llevó a cabo en dos períodos de tiempo: 2008-2009 y 2010-2011. En el caso del análisis de CF, el período de evaluación fue de enero hasta agosto, en el año 2009 y 2011, respectivamente. La cuantificación de este indicador se efectuó por el método de fermentación de tubos múltiples, conocidos como número más probable (NMP/100 ML), indicado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2005).

La clasificación de la calidad de las aguas en 5 clases diferentes se llevó a cabo utilizando el Índice Holandés para valorar la calidad en cuerpos de agua superficiales. El Índice se basa en la obtención de un puntaje de acuerdo con tres indicadores analizados: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el oxígeno disuelto (OD) y el nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺). El OD es un indicador de calidad medido en el campo y con este indicador se puede calcular el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), indicador necesario para la clasificación de la calidad del agua. El cuadro 2 muestra el puntaje dado a cada indicador, según su concentración en el agua y la sumatoria de estos tres datos se compara con la información dada en el cuadro 3 para clasificar la calidad del agua (MINAE, 2007).

Cuadro 2. Asignación de puntaje para PSO, DBO₅ y del N-NH₄⁺, según el Índice Holandés de Valoración de la calidad del agua

PUNTOS	PSO, %	DBO, mg/L	N-NH ₄ ⁺ ,mg/L
1	91 - 100	< = 3	< 0.50
2	71 - 90 111 - 120	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
3	51 - 70 121 - 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
4	31 - 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	< = 30 y > 130	> 15	> 5.0

La metodología, tanto para el análisis como para la toma de las muestras de los indicadores del Índice Holandés, fue la establecida en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

Cuadro 3. Clasificación numérica de las variables según la metodología del Índice Holandés de Valoración

Clase	Promedio de puntos	Código de color	Interpretación de calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 - 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 - 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminación muy severa

Fuente: MINAE, 2007

La verificación de posibles cambios en los niveles de contaminación del agua en cada uno de los puntos de muestreo en ambos períodos de tiempo se llevó a cabo utilizando el programa de cómputo estadístico Statistical Package for Social Science (SPSS). Los distintos valores de contaminación medidos por medio del Índice Holandés, durante 12 meses en cada uno de los puntos de muestreo, se segregaron en dos épocas diferentes: la lluviosa y la seca. El Instituto Meteorológico Nacional estableció que la época seca correspondió desde mediados del mes de noviembre hasta abril del siguiente año, y la lluviosa desde el mes de mayo hasta mediados de noviembre del mismo año. Por conveniencia para dicho análisis, se redefinió la época seca de los meses de noviembre a abril y la lluviosa desde mayo hasta octubre. Las posibles diferencias entre puntos de muestreo por época y por período de tiempo se evaluaron por medio del Análisis de Varianza (ANOVA) y empleando la metodología de Duncan con un nivel de significancia de un 5%, para poder determinar posibles diferencias entre grupos distintos.

Discusión de los resultados

El cuadro 4 muestra los resultados del análisis de CF entre los años 2009 y 2011 en cada uno de los puntos de muestreo. Se observa que el contenido de CF en el 2011 fue menor, en comparación con el período 2009. En dicho cuadro se clasificaron los contenidos de CF menores a 1000 NMP/100 ml con el color verde, indicando con ello que se pueden utilizar con fines recreativos de contacto primario, de acuerdo con los límites de permisibilidad establecido en nuestro reglamento. Por otra parte, aquellos datos en color rojo corresponden a valores de CF superiores a los 1000 NMP/100 ml cuyo uso no puede dedicarse a actividades como la natación.

Los meses con color rojo fueron más frecuentes en el 2009, reduciendo el tiempo de uso recreativo durante el año en ambos ríos; mientras que en el período 2011, solo estuvo restringido un mes para tal actividad recreativa; y únicamente en el río Tigre el mes de julio para la zona baja, y el mes de junio en la zona alta.

El cuadro 4 muestra que los niveles de contaminación por CF se incrementaron en el período de lluvia, mientras que la contaminación por CF es menor en la época seca. En general, se considera que el incremento en CF está asociado con el incremento en los períodos de lluvia; sin embargo, no fue factible corroborarlo debido a la ausencia de estaciones pluviales localizadas en las zonas de muestreo, La península de Osa se caracteriza por poseer microclimas distintos ubicados en distintas zonas de la región, y tanto la subcuenca del río Tigre como la del río Rincón se caracterizan por comportamientos pluviales bastante diferentes entre sí.

Cuadro 4. Comparación de contaminación fecal encontrada en las muestras de aguas recolectadas en el año 2009 y año 2011.

Cantidad de coliformes fecales (NMP/100 ML) año 2009								
Ríos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Ri-1	240	75	240	1100	2100	4600	460	1100
Ri-3	240	43	150	460	1100	4600	460	46000
Ti-1	43	43	75	150	93	1500	460	1100
Ti-3	93	460	93	240	2400	4600	460	1100
Cantidad de coliformes fecales (NMP/100 ML) año 2011								
Ríos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Ri-1	9	43	43	23	23	43	43	9
Ri-3	43	23	9	93	460	460	460	460
Ti-1	23	9	43	4	23	43	11000	43
Ti-3	23	4	15	460	460	11000	460	460

El cuadro 5 muestra los resultados encontrados en los cuatro puntos de muestreo seleccionados y distribuidos en las dos subcuencas en el período 2008-2009 y 2010-2011, que corresponden a la aplicación del Índice Holandés. En el período 2010-2011 el orden de los meses se reacomodó en el Cuadro 5 para que el proceso comparativo por mes sea visualmente más fácil en su interpretación.

Cuadro 5. Comparación de la calidad del agua según el Sistema Holandés en las muestras de aguas recolectadas en el año 2008-2009 y año 2010-2011.

Muestras realizadas entre setiembre del 2008 hasta agosto del 2009.												
Ríos	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Ri-1	4	4	3	5	5	3	5	3	4	4	5	4
Ri-3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4
Ti-1	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	6
Ti-3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3
Muestras realizadas entre noviembre del 2010 hasta octubre del 2011.												
Ríos	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Ri-1	4	5	3	4	5	3	3	3	4	5	9	4
Ri-3	4	5	4	5	4	3	3	4	3	5	6	4
Ti-1	4	5	3	4	5	4	3	4	3	5	11	4
Ti-3	4	5	3	5	4	3	3	4	7	5	10	5

Primeramente se observa que los niveles de contaminación en cada uno de los puntos muestreados oscila entre la categoría de No Contaminado (azul) a Levemente Contaminado (verde), excepto en el mes de julio del 2011 donde, claramente, hay un incremento en los niveles de contaminación. Los mismos pudieron estar asociados a un incremento en los niveles de lluvia que fueran particularmente altos. Sin embargo, la falta de datos de precipitación no permite el probar tal hipótesis.

Por otra parte, los datos individuales en cada uno de los puntos de muestreo debieron agruparse por época seca y lluviosa para llevar a cabo el análisis estadístico. El análisis de cambios en niveles de contaminación, al comparar cada punto de muestreo dentro de una misma época pero de diferente período 2008-2009 en relación con el 2010-2011, mostró que no existe diferencia estadística significativa para justificar alguna variabilidad, excepto para el punto Tigre-3 donde sí hubo un incremento en los niveles de contaminación

Conclusiones

Los niveles de CF en la época seca en ambos períodos evaluados presentaron condiciones adecuadas para el uso del agua con fines recreativos en cada uno de los puntos de muestreo. La época lluviosa mostró condiciones diferentes entre ambos períodos de estudio. En el 2011 hubo condiciones para el uso recreativo del agua en todos los puntos de muestreo, excepto para Ti-1 en Julio y Ti-3 en Junio. En cambio, la época lluviosa del año 2009 presentó prácticamente condiciones de contaminación no aptas para el uso del agua para actividades recreativas.

El análisis estadístico del nivel de contaminación evaluado con el Índice Holandés en cada uno de los puntos de muestreo no indica cambios significativos entre períodos ni entre época del año. La única excepción es el punto Ti-3 que sí muestra un cambio significativo en los niveles de contaminación durante la época lluviosa, el cual es mayor en el año 2011.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Consejo Nacional de Rectores (CONARE), por el apoyo financiero, y al Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE). También, agradecemos al Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y al Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) por su gran respaldo al proyecto.

Bibliografía

- APHA. (2000). Standard methods for the examination of water and wastewater, 20.º edición, Digital.
- AyA. 2003. VII Congreso Nacional de ingeniería sanitaria y ambiental. Simposio realizado en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, San José, Costa Rica.
- Calvo, G. y Mora, J. 2007. 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, 20(4), 59-67.
- FAO. 2011. La FAO lanza campaña para prevenir las enfermedades de transmisión alimentaria. Recuperado el 11 de noviembre, 2011 desde <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/12574-la-fao-lanza-campana-prevenir-las-enfermedades-trasmision-alimentaria>.
- Fundación Neotrópica. (1992). Evaluación ecológica rápida península de Osa. Programa BOSCOSA de la Fundación Neotrópica. Informe Final, agosto de 1992.

- MINAE. 2007. Reglamento para la Clasificación y Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. No 33903 MINAE-S. Gaceta #178, 17 de setiembre del 2007. San José, Costa Rica.
- OMCO. 2010. Estadísticas de enfermedades provocadas por el agua. Consumer World Organization. Recuperado el 13 de febrero, 2010 desde .
- OMS, 2009. Enfermedades diarreicas, una amenaza latente. Recuperado el 13 de febrero, 2010 desde <http://elmercuriodigital.es-elmercuriodigital.es>.
- OMS, 2011. Agua, saneamiento y salud: Manejo ambiental para el control de vectores. Recuperado el 11 de noviembre, 2011 desde http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/envmanagement/es/index.html
- Rosero, L; Maldonado, T. y Bonilla, R. 2007. Bosque y población en la península de Osa. Recuperado el 1 de diciembre, 2014 desde <http://ccp.ucr.ac.cr/seminario/pdf/rosero.pdf>
- Sanchez V., A. 2009. Antología curso: geodinámica y problemas ambientales Doctorado en Ciencias Naturales para el desarrollo, 3.º promoción 2009, Universidad de Chapingo, México.
- Ugalde, J. et al. 2007. Programa de monitoreo ecológico del estado de conservación del sitio Osa. Documento de trabajo. INBIO.

Comparación interlaboratorial de cronómetros 2014

2014 Stopwatch Interlaborator y Comparison

Oscar Fallas-Cordero¹, Isabel Castro-Blanco², Harold Sánchez-Vargas³

Fecha de recepción: 2 de diciembre del 2014

Fecha de aprobación: 28 de marzo del 2015

Fallas-Cordero, O; Castro-Blanco, I; Sánchez-Vargas, H.
Comparación interlaboratorial de cronómetros 2014. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 64-73.

-
- 1 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas. Instituto Costarricense de Electricidad, Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica. Correo electrónico: ofallasc@ice.go.cr
 - 2 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas. Instituto Costarricense de Electricidad, Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica. Correo electrónico: bcastro@ice.go.cr)
 - 3 Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas. Instituto Costarricense de Electricidad, Apartado 485-2050. San Pedro, Costa Rica. Correo electrónico: hsanchez@ice.go.cr

Palabras clave

Cronómetros; comparación interlaboratorial; patrón viajero; calibración.

Resumen

Los cronómetros y temporizadores se utilizan para numerosas aplicaciones y se encuentran entre los dispositivos más comunes calibrados por laboratorios de metrología. Las calibraciones de cronómetros suelen realizarlas tanto los laboratorios secundarios, como los laboratorios estatales o privados. Sin embargo, en países pequeños, el instituto nacional de metrología (INM) a menudo acepta cronómetros para la calibración con el patrón nacional.

En este trabajo se describe y presentan los resultados de una comparación de cronómetros que se llevó a cabo en Costa Rica, entre marzo del 2014 hasta octubre del mismo año, por el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), como INM designado en Costa Rica para Electricidad, Magnetismo, Tiempo y Frecuencia. La comparación involucró 6 laboratorios participantes y un cronómetro patrón viajero.

Keywords

Stopwatches; interlaboratory comparison; travel standard; calibration.

Abstract

Stopwatches and timers are used for numerous applications and are among the most common devices calibrated metrology laboratories. Timer's calibrations are typically carry out by secondary laboratories, as well as state or private laboratories. However, in small countries, the national metrology institute (NMI) often accepts timers for calibration with the national standard.

This paper presents and describes the results of a timer comparison conducted in Costa Rica, from March 2014 until October 2014, by the Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)-Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) as a designated NMI in Costa Rica for Electricity, Magnetism, Time and Frequency. The comparison involved six participating laboratories and a standard stopwatch traveler.

Introducción

La comparación de cronómetros entre laboratorios, se realiza con el propósito de comparar las capacidades de medición de los laboratorios que ofrecen calibraciones de cronómetros a sus clientes o las utilizan en sus procesos, para mejorar sus métodos de calibración, además de ampliar la colaboración metrológica que ha existido recientemente entre laboratorios que realizan calibraciones en variables de tiempo y frecuencia y el LMVE.

El nivel de experiencia entre los laboratorios varió ampliamente. Algunos de los laboratorios realizan calibraciones rutinariamente mientras que otros no tenían experiencia previa y calibraron un cronómetro por primera vez. Por esta razón, a cada participante se le permitió seleccionar su propio método de calibración, basados en la instrumentación y la experiencia disponibles. La única restricción correspondió a que los laboratorios no podían abrir el cronómetro bajo ninguna

circunstancia. Cada participante también fue responsable de realizar su propia estimación de la incertidumbre de medición, utilizando métodos coincidentes con los descritos en la GUM⁴.

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (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
SCM Metrología y Laboratorios S.A	Helber Meneses Navarro	2431 5252
Elvatron	Oscar Sibaja Seravalli	2242 9960 ext. 315
MET-CAL	Rolando Molina S. Karen Picado	2286 4286
CAMERICA	Luis Abarca Camacho	2280 2886
Laboratorio Químico de Aceites y Combustibles	Ana Lucrecia Montero Aguilar	2501 1081
RECOPE	Patricia Soto Esteban Castillo Luis Hernández	2550 3500 ext. 3858 2550 3769 2550 3750

Programación y logística de la comparación

Para la circulación del cronómetro patrón se propuso un circuito de traslado adecuado entre los laboratorios participantes y el laboratorio piloto, que consistió en la mediciones intermedias por el LMVE tras la medición de dos participantes, lo anterior 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.

Estuvo considerado como parte del tiempo de medición, 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 pactada por lo que los tiempos estimados se consideran adecuados para el ejercicio en cuestión.

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

⁴ Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008

Cuadro 2. Programa de mediciones.

Laboratorio	Fecha de medición	Fecha de transporte
LMVE	2013-10-31 a 2014-03-21	2014-03-24 a 2014-03-28
SCM Metrología y Laboratorios S.A.	2014-03-31 al 2014-04-18	2014-04-21 al 2014-04-25
Elvatron	2014-04-28 al 2014-05-09	2014-05-12 al 2014-05-16
LMVE	2014-05-19 al 2014-05-30	2014-06-02 al 2014-06-06
MET-CAL	2014-06-09 al 2014-06-20	2014-06-23 al 2014-06-27
RECOPE	2014-06-30 al 2014-07-11	2014-07-14 al 2014-07-18
LMVE	2014-07-21 al 2014-08-01	2014-08-04 al 2014-08-08
CAMERICA	2014-08-11 al 2014-08-22	2014-08-25 al 2014-08-29
Laboratorio Químico de Aceites y Combustibles	2014-09-01 al 2014-09-12	2014-09-15 al 2014-09-19
LMVE	2014-09-22 al 2014-10-03	N.A

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

Mesurando

El mesurando se definió como la desviación fraccional de frecuencia del cronómetro (adimensional), que se puede determinar mediante la medición de la frecuencia o el tiempo, debido a la relación:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{\Delta t}{T} \quad (1)$$

Donde

$\frac{\Delta f}{f}$ es la diferencia entre la frecuencia medida y la frecuencia nominal, dividida dicha diferencia

por la frecuencia nominal y $-\frac{\Delta t}{T}$ es el cambio en el tiempo dividido por el periodo de medición.

Cronómetro patrón viajero

El patrón viajero que se utilizó corresponde a un cronómetro marca Citizen (figura 1), propiedad del ICE, código I-3659, con una resolución de 0,01 s, pantalla digital, botones de inicio y parada. El ICE-LMVE mantiene un historial de la estabilidad del patrón viajero.

Su base de tiempo es un oscilador de cristal de 32 768 Hz, similar al oscilador que se encontrar en un reloj de pulsera de cuarzo.

La pantalla se restablece después de un intervalo de tiempo máximo de 9 horas, 59 minutos, 59,99 s, pero los intervalos más largos se pueden medir si el operador calcula el número transcurrido de ciclos de 10 horas.

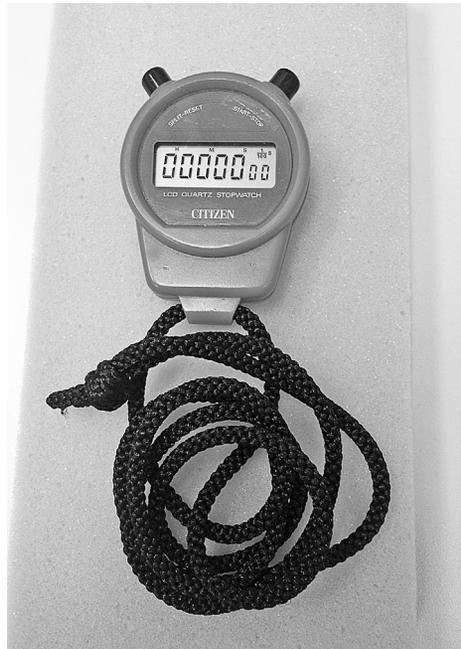


Figura 1. Cronometro utilizado como patrón viajero.

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



Figura 2. Cronometro en caja utilizada para el transporte

El LMVE utilizó el método de calibración de base de tiempo mediante la medición por comparación directa de la frecuencia del oscilador de cuarzo, con un contador de frecuencia con su base de frecuencia alimentada desde el oscilador de cesio, el cual es la realización nacional del segundo y es comparado con el Sistema Internacional de Unidades (SI) mediante el Sistema SIM TF (<http://tf.nist.gov/sim/simnet.htm>).

Las mediciones realizadas por el laboratorio piloto corresponden a la diferencia entre la frecuencia medida y la frecuencia nominal del cronómetro patrón (32 768 Hz). Las mediciones se realizaron cada segundo, de manera consecutiva, durante tres días. Este método de calibración está definido en el alcance de acreditación vigente del LMVE ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA, http://www.eca.or.cr/acr_lab.php?t=c). El valor declarado por el LMVE es de 2.0×10^{-10} Hz/Hz ($k = 2$), para intervalos de promediación que van desde 1 s a 86 400 s. La mayor contribución a la incertidumbre de la medición por el LMVE corresponde a la variabilidad de las mediciones de la base de tiempo del cronómetro.

El cuadro 3 muestra los resultados de calibración del cronómetro patrón:

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

	Calibración	$\Delta f/f$ (Hz / Hz, partes en 10^6)	Δf (Hz)	s /día	U ($k = 2$, Hz/Hz, partes en 10^8)
Cronómetro Patrón	Inicial	2,52	0,083	0,22	3,75
	Final	2,37	0,078	0,21	7,47

La desviación fraccional de frecuencia cambió aproximadamente en -1.48×10^{-7} Hz/Hz durante los 178 días transcurridos desde la calibración inicial hasta la calibración final, efectuadas por el LMVE. Se nota que el error acumulado en tiempo (s / día) en el cuadro 3 fue menor a un segundo, lo que es muy bueno comparado con valores típicos de especificaciones de cronómetros (30 s por mes, alrededor de 1 s por día).

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

Se pidió a los participantes presentar sus resultados utilizando el formulario que se muestra en el cuadro 4. No todos los participantes siguieron el formato, y alguna información se omitió. 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-ddhh:mm:ss	
Fecha de finalización	aaaa-mm-ddhh:mm:ss	
Configuración de la calibración		
Responsable de la toma de datos		
Patrón utilizado		
Trazabilidad		
Método utilizado		
Condiciones Ambientales		
Temperaturamáxima		°C
Temperaturamínima		
Humedadmáxima		%
Humedadmínima		
Resultado de la calibración		
Item	Valor	Unidad
Desviación Fraccional de Frecuencia		s/s
Incertidumbre		s/s
Factor de cobertura		

Como se señaló anteriormente, cada laboratorio seleccionó su método de calibración. Sin embargo, se acordó describir el método que eligieron, lo cual se muestra en el cuadro 5. A continuación, se describen brevemente los diferentes métodos que existen para la calibración de cronómetros.

Método de comparación directa

El método de comparación directa es el más común utilizado para calibrar cronómetros y temporizadores. Se requiere un equipamiento mínimo, pero tiene incertidumbres de medición mayor que otros métodos.

El método de comparación directa requiere una referencia del intervalo de tiempo trazable al SI. Esta referencia es generalmente una señal de tiempo de audio y en algunos casos una visualización de la hora por un patrón trazable al SI. Las señales de tiempo de audio generalmente se obtienen con una radio de onda corta o un teléfono.

Método totalizado

El método totalizado elimina parcialmente la incertidumbre de medida de tiempo por la reacción humana, pero requiere un generador de señal calibrado y un contador de frecuencia. El contador se pone en modo TOTALIZADO, con puerta manual. Una señal calibrada de un generador sintetizado es conectada a la entrada del contador, y la frecuencia principal del laboratorio se utiliza como la base de tiempo externa para el sintetizador. No se necesita una

referencia externa para el contador porque el operador realiza el control de tiempo de puerta del contador. La frecuencia debe tener un período, al menos de un orden de magnitud menor que la resolución del cronómetro. Por ejemplo, si el cronómetro tiene una resolución de 0,01 s (10 ms), se utiliza una frecuencia de 1 kHz (período de 1 ms). Esto proporciona al contador un dígito más de resolución que el cronómetro.

Para empezar la medición, se inicia el cronómetro y manualmente se abre la puerta del contador al mismo tiempo. Una forma de hacerlo es presionando el botón de arranque y parada del cronómetro contra el botón de inicio del contador. Otro método consiste en presionar el botón de inicio / parada del cronómetro con una mano y presionar simultáneamente el botón inicio / parada del contador con la otra mano. Después de un período adecuado de tiempo (determinado por los requisitos de calibración del cronómetro o el temporizador que se está calibrando) se usa el mismo método para detener el cronómetro y cerrar simultáneamente la puerta del contador.

Método Base Tiempo

El Método Base Tiempo es el procedimiento de medición preferido para calibraciones de cronómetros y temporizadores, ya que introduce la menor incertidumbre en la medición. Debido a que se mide la base de tiempo del cronómetro directamente, el tiempo de respuesta del operador no es un factor de calibración considerado. El método exacto de medición de la base de tiempo del cronómetro depende del tipo de cronómetro o temporizador que se está calibrando. Si la unidad tiene un cristal de cuarzo como base de tiempo, un sistema inductivo o acústico se puede utilizar para supervisar la frecuencia de 32 768 Hz del oscilador del cronómetro con un contador de frecuencia calibrado (la medición se envía a un amplificador para aumentar la intensidad de la señal).

Resultado de mediciones

Las condiciones ambientales, los resultados de medición y la incertidumbre estimada se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de los participantes

Laboratorio	Intervalo de temperatura (°C)	Intervalo de humedad (%)	Método	Resultado		U (k = 2) (partes en 10 ⁶)
				Hz/Hz (partes en 10 ⁶)	s/día	
LMVE	18,0 a 23,0	30 a 70	Base de tiempo	2,49	0,21	0,042
Lab1	17,1 a 23,8	47 a 61	Comparación directa	2,42	0,209	0,29
Lab2	22,3 a 22,5	62 a 68	Totalizado	-0,428	0,037	4,05
Lab3	20 a 22	55 a 61	Comparación directa contra patrón	3,27	0,283	5,8
Lab4	22,2 a 23,8	48,3 a 63,6	Comparación directa	1,3	0,112	4,3
Lab5			Comparación directa contra patrón	2,76	0,239	0,321
Lab6	22,1 a 22,1	64 a 70	Comparación directa contra cronometro patrón	2,65	0,23	0,983

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 exigía a los participantes incluir el análisis de la incertidumbre total; sin embargo, el análisis completo fue proporcionado por cuatro de los laboratorios. Este análisis no se incluye en este informe, sin embargo, la mayoría utiliza una variación del método de suma de la raíz de los cuadrados de cada componente de incertidumbre,

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

Donde,

k = es el factor de cobertura (2 en todos los casos), es el cuadrado de la incertidumbre evaluada Tipo A y es el cuadrado de la incertidumbre evaluada Tipo B.

Para los laboratorios que mostraron su análisis de la incertidumbre mediante la comparación o totalizan métodos directos, como se esperaba, el tiempo de reacción humana es la mayor fuente de incertidumbre. En el método de base de tiempo, el mayor aporte es la incertidumbre del oscilador de referencia y la incertidumbre contribuida por los sensores e instrumentación. Hay varios ejemplos en los que las estimaciones de la incertidumbre parecen claramente ser sobreestimadas o bien subestimadas, y hay una considerable variación de los resultados de las mediciones reportadas por los diversos laboratorios, como puede verse en la figura 3.

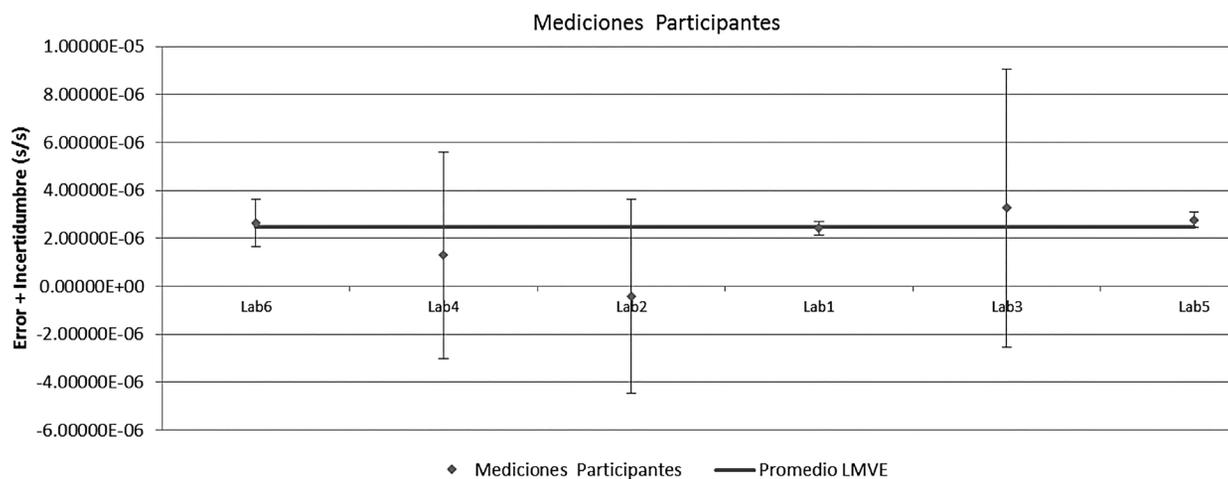


Figura 3. Resultados de los participantes

Resumen y conclusiones

La comparación mostró diferencias a considerar entre los participantes, por lo que se debe tomar en cuenta que algunos laboratorios no tenían experiencia previa con calibraciones cronómetro y que se utilizaron diferentes métodos de calibración. Los resultados obtenidos en esta comparación muestran que, aunque hay diferencias en los métodos de calibración y en las incertidumbres de los participantes, todos fueron capaces de brindar buenos resultados en esas condiciones.

Los conocimientos adquiridos durante la comparación podrían ser utilizados para desarrollar un procedimiento estándar para la calibración de cronómetros para los laboratorios involucrados. Aún más importante es que estos procedimientos se podrían distribuir a los laboratorios secundarios e industriales que tienen un gran número de cronómetros para calibrar.

También se espera que, en futuras comparaciones interlaboratorios, se dé un trabajo para mejorar las capacidades de calibración y medición de los participantes, y fortalecer aún más la cooperación entre los laboratorios. Esto podría incluir comparaciones de cronómetros adicionales, o comparaciones de los osciladores de precisión media, como los osciladores de cuarzo horno controlado utilizados en los equipos de prueba, entre otros.

Referencias

- Díaz H. and Postigo H., (September 2013), "*Calibración de cronómetros digitales por el método de inducción con una incertidumbre de medición $\leq 0,1 \mu\text{s/s}$* ", Proceedings of 2013 SEMETRO Conference, Buenos Aires, Argentina, 4 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Diaz_Postigo_SEMETRO_2013.pdf.
- Gust J. C., R. Graham M., and Lombardi M. A., (January 2009), "*Stopwatch and Timer Calibrations*", (2009 edition), NIST Special Publication 960-12, 66 p. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/sim/papers.htm>.
- Jiménez J. and Sánchez H., (June 2009), "*Calibración de Cronómetros Mediante la Medición de la Frecuencia del Oscilador de Cuarzo*", Proceedings of 2009 SEMETRO Conference, João Pessoa, Paraíba, Brazil, 3 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Costa_Rica_Stopwatches.pdf.
- López-Romero J. M., Lombardi M. A., Díaz-Muñoz N. and de Carlos-Lopez E., (December 2013), "*SIM Time Scale*", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 62, no. 12, pp. 3343-3350. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2613.pdf>.
- López-Romero J. M., Díaz-Muñoz N., and Lombardi M. A., (August 2009), "*Establishment of the SIM Time Scale*", INFOSIM: Informative Bulletin of the Interamerican Metrology System - OAS, pp. 39-43. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2431.pdf>.
- López-Romero J. M., Díaz-Muñoz N., and Lombardi M. A. (October 2008), "*Establishment of the SIM Time Scale*", Proceedings of the 2008 Simposio de Metrología, Querétaro, México, 5 pages. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2306.pdf>
- Mojica L. M. and Solís R. F., (September 2011), "*Sistema de Bajo Costo Para Calibración Automatizada de Cronómetros Digitales*", Proceedings of 2011 SEMETRO Conference, Natal, Brazil, 4 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Mojica_Sistema_de_Bajo_2011.pdf
- Mojica L. M. and Solís R. F. (September 2011). "*Error de Tiempo en Cronómetros Digitales en Base a Mediciones de Intervalo de Tiempo y Frecuencia*", Proceedings of 2011 SEMETRO Conference, Natal, Brazil, 8 p. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Mojica_Error_de_Tiempo_2011.pdf.
- Solís R, Sánchez H, Fallas O, J. Lopez-Romero M, Jiménez F, Postigo H, Perez D, Masi V, Ibrahim A, Lombard M Hoger, B, de Carvalho J R, Orozco G, Reddock T and Trigo L, (February 2011), "*An Interlaboratory Stopwatch Comparison in the SIM Region*", 7 p. Obtenido desde: <http://tf.nist.gov/general/pdf/2571.pdf>
- Trigo L. and Slomovitz D. (October 2008), "*Calibración de cronómetros digitales por método de inducción*", IEEE Encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas, Montevideo, Uruguay, pp. 21-23. Obtenido desde: http://tf.nist.gov/sim/Papers/Uruguay_Stopwatches.pdf

Educación ambiental para la conservación del recurso hídrico a partir del análisis estadístico de sus variables

Environmental education for water conservation through a statistical analysis of variables

Cristian Moreira-Segura¹, Freddy Araya-Rodríguez², Claudia Charpentier-Esquivel³

Fecha de recepción: 26 de diciembre del 2014

Fecha de aprobación: 3 de abril del 2015

Moreira-Segura, C.; Araya-Rodríguez, F.; Charpentier-Esquivel, C. Educación ambiental para la conservación del recurso hídrico a partir del análisis estadístico de sus variables. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 74-85.

1 Máster en Ciencias de la Educación, estudiante del programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), profesor de la Escuela de Idiomas y Ciencias Sociales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede de San Carlos. Correos electrónicos: cristianmoreiras@gmail.com, cmoreira@itcr.ac.cr. Teléfono: (506) 2401-3131.

2 Doctor en Ciencias Agrícolas, Coordinador General del Programa Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo Sostenible (DOCINADE). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede de San Carlos.

3 Doctora en Educación Ambiental, profesora del Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede de San Carlos.

Palabras clave

Recurso hídrico; educación ambiental; comunidades rurales; análisis de trayectorias.

Resumen

Este artículo muestra los elementos principales que justifican y reafirman la necesidad de implementar una propuesta de educación ambiental tomando como punto de inicio y de finalización la comunidad. Para tal efecto se aplica un cuestionario a 262 pobladores de tres comunidades de la región Huetar Norte de Costa Rica. Estos habitantes son fuente de información y a la vez receptores de los productos generados en un proceso educativo y de investigación. En este documento se argumenta que un plan de educación ambiental para la conservación del agua debe de considerar variables como la disposición, el comportamiento y las competencias con el objeto de entender sus interrelaciones y cómo afectan la acción ambiental. El resultado obtenido indica que, aunque se tenga una disposición adecuada, las acciones ambientales a favor del recurso hídrico no se realizan; es decir, se carece de las competencias necesarias para llevarlas a cabo.

Keywords

Water resources; environmental education; rural communities; path analysis.

Abstract

This article shows the main elements that justify and reinforce the need to implement an environmental education proposal by taking the community as an starting and ending point. For this purpose, a questionnaire was applied to 262 residents of three communities in the Northern Region Costa Rica. These people are both, a source of information and the receptors of the products generated in an educational process and research. This paper confirms that an environmental education plan for water conservation should consider variables such as the disposition, behavior and competencies in order to understand their interrelationships and how they affect environmental action. The results suggest that although there is an adequate disposition, the environmental actions for water conservation are scarce. That is, they lack the adequate competences to accomplish environmental actions.

Introducción

El agua es el componente más importante del planeta. Todos los seres vivos dependen de la existencia del agua. El agua también promueve o desincentiva el crecimiento económico y el desarrollo social de cada región y afecta sus patrones de vida y cultura, por lo que se la reconoce como agente preponderante en el desarrollo regional y nacional. (Cisneros y Tundisi, 2012, p. 31). Calixto (2009) nos recuerda que del agua que cubre el 70% de la superficie terrestre, solo 2.5% corresponde a agua dulce y el resto a salada. De esta pequeña fracción, un 70% se encuentra congelada en los casquetes polares y el 30% restante distribuido en la atmósfera, en los cuerpos de agua superficiales y en los acuíferos fuentes no siempre explotables. Menos de 0.01% del agua del planeta es aprovechable para consumo humano. El agua también promueve o desincentiva el crecimiento económico y el desarrollo social de cada región y afecta sus patrones de vida y cultura, por lo que se la reconoce como agente preponderante en el desarrollo regional y nacional (Prujel, 2010).

Un proceso educativo no formal que persiga una buena gestión del recurso hídrico, procura lograr una migración paulatina de las acciones y de las prácticas convencionalmente definidas como erradas, hacia un punto donde las acciones que se realicen sean informadas y con una mayor valoración del impacto que causan (Asunción, 2006, p.6). La educación ambiental, en principio, pretende aportar los elementos necesarios, para participar de forma individual y colectivamente en procura de soluciones a los problemas actuales y para la prevención de los eventuales. Se caracteriza porque sus propósitos se centran en comprometer al individuo en un proceso activo para resolver los problemas ambientales haciendo uso de conocimientos, actitudes, valores y motivación adecuada traducidos en acciones adecuadas.

El papel de la educación ambiental

Hablar de educación para un uso sostenible del agua es hablar de una educación transformadora, orientada a la acción y al cambio. Una educación que no se limita a informar, ni siquiera a sensibilizar sobre los problemas planteados sino que, también, se propone capacitar para un uso eficiente y responsable (Hernández & Fava, 2006). Novo (2003) establece que, en efecto, la teoría constructivista del aprendizaje nos indica que lo que un individuo experimenta o percibe en cualquier momento de su vida, a través de sus sistemas cognitivos, afectivos, etc. está fuertemente condicionado (a veces incluso determinado) por lo que algunos autores llaman sus marcos de referencia (Einser, 1987); es decir, por la trama de conocimientos, afectos y valores previamente establecida por el sujeto. Esta trama influye de manera notoria en sus expectativas a la hora de aprender algo, en sus bloqueos ante determinada información y, en definitiva, sobre sus posibilidades reales de relacionar aquello que aprende con lo que ya sabe y siente. Por otra parte, hay que recordar que el “saber hacer” no solo abarca la capacitación para la acción individual, sino también para la acción colectiva.

En este sentido, cobra una importancia primordial la capacitación para la participación. No solo en la información sobre los problemas relativos al agua, si no en la vinculación con la solución de estos (Hernández, et al., 2006). Es así como Asunción (2006) plantea que “la finalidad de la educación ambiental no formal es pasar de personas no sensibilizadas a personas informadas, sensibilizadas y dispuestas a participar en la resolución de los problemas ambientales”. La responsabilidad que recae sobre el educador y más sobre el educador ambiental, debe ser un elemento preponderante para la creación intencionada de una nueva cultura con respecto al recurso hídrico, la llamada Nueva Cultura del Agua.

Para Novo (2003), el papel del educador o educadora ambiental es operar como mediador en esta transacción educativo-entorno que da lugar al nuevo conocimiento, poniendo en juego las estrategias didácticas necesarias para que las personas implicadas puedan relacionar aquello nuevo que aprenden con lo que ya sabían, bien sea para confirmarlo y ampliado, o bien para modificarlo o cuestionarlo. En otras palabras, no impone lo que se desea, si no se realiza un aprendizaje por descubrimiento. Para lograr lo propuesto Murga y Novo (2003) aclaran que “si bien no existe un modelo único de educación ambiental, sí que es posible hablar de un corpus teórico establecido a lo largo de múltiples congresos y encuentros científicos en las últimas décadas” (p. 39).

En todo caso, el trabajo en el campo de las estrategias para un uso más eficiente y racional del agua no debe limitarse a la capacitación en materia tecnológica sino que, también, deben plantearse cuestiones relativas a los estilos de vida (Hernández & Fava, 2006). Esto no es más que la formación en valores, el trabajo con actitudes y finalmente la ejecución de la acción ambiental adecuada. Parece necesario que el enfoque, en materia de sensibilización y educación ambiental, debe pasar por una profunda labor de pedagogía social que permita al ciudadano elaborar un pensamiento lógico distinto al actual (Peñas, 2011).

Visión tradicional sobre el agua

La cultura se liga a lo que ocurre, hasta ahora, los criterios y la opinión, de manera generalizada, han participado de un lenguaje unidireccional que fomentó un pensamiento único que ha entendido los ríos, arroyos, lagos, humedales y acuíferos como simples almacenes de agua de los que había que sacar provecho y, no hacerlo, sería desaprovechar y desperdiciar un recurso que nos brinda la madre naturaleza (Peñas, 2011, p. 2). Este recurso no se ha visto como el elemento vital que es. Márquez (2003) afirma que el agua es símbolo, magia, terapia, función de la naturaleza, elemento de bienestar, fuente de vida... pero cuando el agua no reúne las condiciones de potabilidad biológica se convierte en vehículo de muerte. Estas cosmovisiones –una de almacén para extraer a conveniencia, y la otra la exalta al agua como fuente de vida– se gestan en la cultura y determinan las percepciones y creencias que cada comunidad ha consagrado como válidas a través de su historia (Vargas & Piñeyro, 2005, p.18). Continúan estos mismos escritores (2005), indicando que:

todos los autores que se refieren a la gestión coinciden en que es necesario un cambio de paradigma pero el cambio no se producirá sin que se creen las condiciones para el aprendizaje y la acumulación sucesiva de experiencias. Aprendizaje y memoria social que se transforman en cultura hídrica de la comunidad. La gestión debe asumir como propia la tarea de organizar la pedagogía del agua, coordinando las acciones con las instituciones y actores sociales pertinentes (p. 26).

Pero, ¿qué es este cambio de paradigma?. Se basa en comprender que la acción individual, solitaria, anónima, sin una recompensa material, es lo que se debe de realizar; es decir, una acción coherente entre lo que está bien, creo que está bien y cómo hacer la acción.

De lo individual a lo colectivo

La realidad nos viene mostrando que, frecuentemente, las ventajas ambientales que podría reportar la introducción de tecnologías eficientes son anuladas por la aparición de (nuevos) usos relacionados con (nuevos) estilos de vida y consumo (Hernández & Fava, 2006). Cambiar el enfoque de lo que se enseña para que se dirija al comportamiento individual y nos ayuda a superar algunas de nuestras predisposiciones humanas puede ser justo lo que necesitamos para recuperar la visión original del movimiento medioambiental y puede ayudar a combinar el respeto por el mundo natural con la voluntad para detener su destrucción (Blumstein & Saylan, 2007).

Novo (2009), afirma que ello plantea la necesidad de movilizar en quienes aprenden no sólo los aspectos racionales, sino también todo el ámbito de los afectos, de los valores y de la mirada estética sobre el mundo, abandonando los viejos paradigmas de dominación, racionalismo a ultranza, alejamiento del mundo de los sentidos y del arte, para impulsar nuevas miradas y formas de estar en la sociedad complejas e integradoras, que contribuyan a la sostenibilidad en todos los niveles, desde el personal y el local hasta el global. Vemos, entonces, cómo lo complejo de las sociedades se redefine y se orienta a la acción, a la unidad mínima de la sociedad, el individuo. Parafraseando a Marquéz (2003), cuando se habla de Educación Ambiental hacemos referencia a un ideal de persona y sociedad que vive de forma sostenible con su medio. Frente a un modelo social basado en el consumo compulsivo, en la concepción de lo natural como infinito y de la naturaleza al servicio del hombre.

Baldi (2005) confía en que resulta lógico, entonces, dotar a los individuos de información que promueva en ellos pensamientos, conocimientos, actitudes y creencias pro ambientales que les permitan desarrollar opiniones para poder tomar decisiones saludables (que respeten la vida en sentido amplio). Es decir, una educación (a través de la información) orientada a

sensibilizar sobre diversas situaciones y, a partir de este proceso de sensibilización, generar distintos procesos de organización social, facilitando así una participación comunitaria. Para lograr que estas sean efectivas, explica Novo (1996), las iniciativas de educación no formal en el terreno ambiental requieren ser enfocadas en los grupos comunales organizados que todos los días adoptan pequeñas decisiones a la hora de comer, vestirse, comprar, etc.; decisiones que, unidas, conforman grandes impactos. Gilbertson, Hurlimann, & Dolnicar, en su estudio en dos ciudades Australianas en el 2011, llegaron a la conclusión de que existen diferencias en las actitudes de conservación del agua y los comportamientos y esto depende de la situación del agua en el lugar de residencia. Para la región Huetar Norte de Costa Rica, donde se reporta la precipitación mensual obtenida es abundante y la precipitación media anual en la parte alta de la cuenca de 2 000 a 3 000 mm con diferentes sectores de 5 000 a 7 000 mm, en la parte media se registra una precipitación entre los 3 000 y 4 000 mm y en la parte baja de 2 000 a 4 000 mm. (Rojas-Morales, 2011, p. 17). Esta elevada precipitación podría generar una falsa impresión de abundancia y, por ende, una alta demanda. Investigadores como Gilbertson et al., 2011 indican que los resultados de su estudio muestran que

las personas que han experimentado la escasez de agua personalmente están mucho más dispuestas a cambiar de comportamientos cotidianos y a conservar el agua. Este es un hallazgo que puede ser directamente traducido en mensajes de comunicación que podrían utilizarse en contextos en los que el la sequía no es tan tangible a la gente (p. 57).

De igual manera Corral-Verdugo (2002) señala que “la escasez de agua es uno de los factores situacionales más importantes para influir en el esfuerzo de conservación del agua” (p. 246).

Componentes de alfabetización ambiental

Hay cuatro componentes interrelacionados de la alfabetización ambiental: conocimientos, disposiciones, competencias y un comportamiento responsable con el medio ambiente, todos los cuales se expresan en contextos particulares (Hollweg, Taylor, Bybee, Marcinkowski, McBeth, & Zoido, 2011, p.3). Para comprender estas interrelaciones, de manera gráfica se representa en la Figura 1. Las competencias se definen como conjuntos de habilidades y destrezas que pueden ser llamados y se expresan en entornos del mundo real y de evaluación para un propósito específico. En general, una persona se considera que es competente cuando él o ella pueden hacer algo repetidamente y en un determinado nivel de calidad o precisión (Hollweg, et al, p.22)

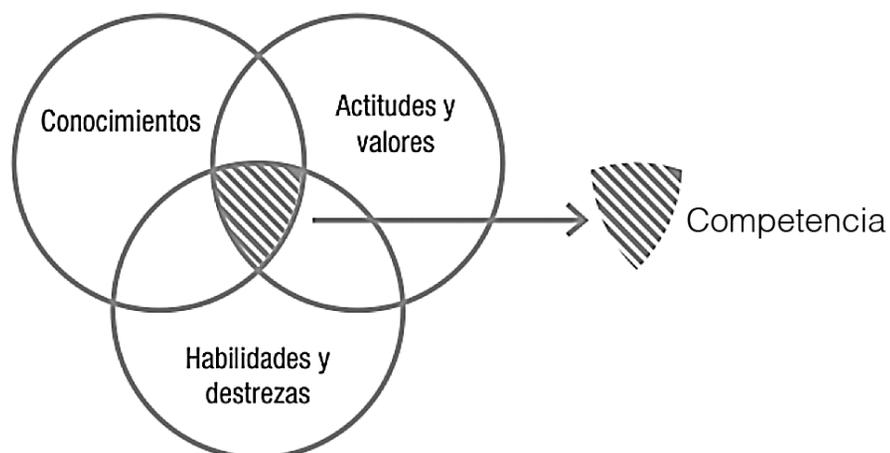


Figura 1. Fuente: Secretaría de Educación Pública de México (2009, p. 12.)

Grupos de competencias

Al referirnos a competencias, las definimos como “conjuntos de habilidades y destrezas que pueden ser llamados y expresados en entornos del mundo real y de evaluación para un propósito específico” (Hollweg et al, 2011, págs. 3-7). La Asociación Norteamericana de Educadores Ambientales, la NAAEE (por sus siglas en inglés), propone en su documento *Developing a Framework for Assessing Environmental Literacy* (2011) que para lograr un adecuada alfabetización ambiental es necesario priorizar en cuatro grupos de competencias generales: a. Identificar problemas ambientales; b. Analizar problemas ambientales; c. Evaluar posibles soluciones a problemas ambientales y d. proponer, justificar las acciones para hacer frente a problemas ambientales (págs. 4-2).

A partir de esta propuesta y con el objetivo de realizar un aporte concreto para la puesta en práctica, se define un nivel más para esta propuesta de alfabetización ambiental que correspondiente a la ejecución y seguimiento de acciones. Este grupo de competencias es el que corresponde a la ejecución y el seguimiento de las acciones realizadas, previa identificación, análisis y evaluación de los diferentes cursos de acción y tomar las medidas correspondientes.

Metodología

Población de estudio

La muestra del estudio lo conformaron por 262 participantes de tres comunidades rurales de la región Huetar Norte de Costa Rica, la mayor parte de la población se ubica en un rango de edad mayor a los cuarenta años, con un nivel educativo de primaria para casi el 50% de los participantes; y solamente el 17% con educación universitaria; información con la que se concluye que el nivel educativo de la mayoría es básico. Se identifica, también, que un 61% de los participantes cuenta con más de diez años de residir en la comunidad y solo una pequeña parte (39%) cuenta con menos de un decenio; de lo anterior se puede afirmar que la población tiene un tiempo considerable de vivir en la comunidad.

Instrumento para la recolección de información

En este estudio se elaboró un cuestionario con preguntas abiertas y, posteriormente, con preguntas cerradas. El primero fue de preguntas abiertas y la validación del instrumento o validez de contenido se realizó mediante el criterio de expertos. El grupo de expertos estuvo conformado por cuatro especialistas en educación ambiental quienes realizaron cambios y mejoras al cuestionario inicial. Una vez que fue validado por los expertos se procedió a hacerlo con un grupo de 20 personas de una comunidad que no participó en el estudio, Santa Clara en Florencia de San Carlos, pero que tenía características similares a las de las comunidades objeto de estudio, lo cual permitió realizar la validación del instrumento.

Estos ajustes se incorporaron en la versión final del instrumento con preguntas abiertas. Este cuestionario se aplicó a 30 personas de las comunidades de estudio y las respuestas fueron anotadas y categorizadas y luego se seleccionó el enunciado que mejor representaba la categoría y se utilizó para construir un instrumento con preguntas cerradas. El cuestionario con preguntas cerradas que se aplicó para la recolección de los datos constó de cinco secciones con preguntas abiertas y cerradas. Los ítems contenidos en el instrumento total se distribuyen de la siguiente manera: 9 para medir el componente de conocimientos; 7 para abordar la disposición ambiental; 17 para medir comportamiento y 15 para valorar competencias, para un total de 48 ítems.

Análisis de información

Se realizan análisis estadísticos univariados (frecuencias, desviaciones estándar), los promedios de las escalas se emplearon para construir índices que representaron a las variables (disposición, comportamiento y competencia). Con estos índices se elaboró la matriz de correlaciones y se utilizó el Coeficiente de Pearson para determinar si existía una relación entre variables. Finalmente se realizó un análisis de trayectorias donde se representa de manera gráfica la relación entre las variables.

La información fue analizada con el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) IBM Corporation, 2006 versión 21 para Windows, y paquete Estadístico LISREL Versión Student 8.8 (Karl Jöreskog/Dag Sörbom, 2009); para la información recogida en las preguntas abiertas se aplicó un análisis textual.

Resultados

Consistencia interna y validez del constructo

Con la intención de determinar la correlación entre los ítems utilizados para medir cada una de las variables y darle mayor confiabilidad, se aplicó el índice de Alfa de Cronbach, para validar la consistencia interna de los ítems de cada variable. La aplicación de esta prueba de validez eliminó un enunciado, por lo que el constructo final para estas secciones quedó constituido por 22 enunciados. Estos ítems o enunciados conforman tres variables: disposición, comportamiento y competencia que alcanzaron índices de Alfa de Cronbach de 0,70, 0,74 y 0,71, respectivamente. Según lo plantean Celina y Campo (2005), estos resultados muestran un nivel de consistencia interna adecuado y una fuerte relación entre los ítems o reactivos. Para ellos,

el valor mínimo aceptable para el coeficiente alfa de Cronbach es 0,7; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja. Este valor manifiesta la consistencia interna; es decir, muestra la correlación entre cada una de las preguntas; un valor superior a 0,7 revela una fuerte relación entre las preguntas, un valor inferior revela una débil relación entre ellas (p. 577).

Análisis estadístico

Una vez realizados los análisis estadísticos univariados (frecuencias, desviaciones estándar), los promedios de las escalas se utilizaron para construir índices que representaron a las variables (disposición, comportamiento y competencia). Con estos índices se elaboró la matriz de correlaciones, con la que se determinó una relación significativa entre las variables. Utilizando el paquete Estadístico LISREL Versión Student 8.8 se realizó un análisis de trayectorias que como indican Armenta, Verdugo, Escobar, Méndez, y Bustamante (2012),

es la técnica estadística que nos permite modelar y estimar un sistema completo de relaciones causales entre diversos componentes, los cuales podrán ser variables dependientes e independientes a la vez. La ventaja de este sistema es que se pueden medir al mismo tiempo los efectos directos e indirectos que tiene una variable sobre otra (p. 247).

Este análisis expresa de manera numérica y gráfica a la vez, las relaciones directas e indirectas entre las tres variables (disposición, comportamiento y competencia) asignando una carga factorial que permite ponderar su influencia en el modelo teórico que explica el comportamiento ambiental. Es así como esta relación se explicita en la cuadro 1, donde las relaciones entre las variables resultan significativas.

Cuadro 1. Matriz de correlaciones entre variables

	Disposición	Comportamiento	Competencia
Disposición			
Comportamiento	.696**		
Competencia	.947**	.656**	

**La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Se utilizó el coeficiente de Pearson para determinar si existía una relación o grado de asociación lineal entre variables a nivel intervalar y que esta relación no se debiera al azar; es decir, que la relación sea estadísticamente significativa. Si el coeficiente de correlación es igual o cercano a (+1) indica una dependencia también total o fuerte entre las dos variables (Rodríguez, Gallardo, Pozo, y Gutiérrez, 2006) en el cuadro 2. Alzina (2004), propone una interpretación de los resultados.

Cuadro 2. Valores para interpretación del coeficiente de Pearson

Coefficiente	Interpretación
De 0 a 0,20	Correlación prácticamente nula
De 0,21 a 0,40	Correlación baja
De 0,40 a 0,70	Correlación moderada
De 0,71 a 0,90	Correlación alta
De 0,90 a 1	Correlación muy alta

En este estudio todas estas correlaciones fueron positivas y significativas. Disposición-competencia mostraron un nivel de asociación muy alto (.947), y comportamiento-competencia y disposición-comportamiento una correlación moderada (.656, 696 respectivamente). A continuación, en la figura 2, se presenta el modelo generado con los resultados de los análisis realizados y se presenta como un diagrama de flujo, en el cual las flechas que conectan a las variables representan covarianzas o coeficientes de regresión.

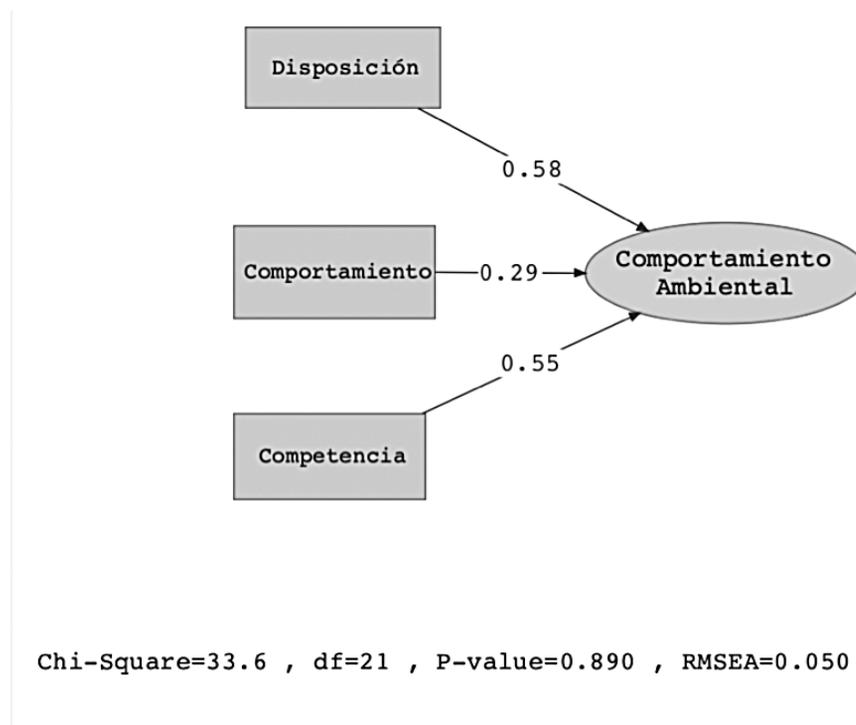


Figura 2. Relaciones entre variables para comportamiento ambiental responsable hacia el recurso hídrico.

Bondad de ajuste: $X^2=33.6$ (21gl), $p=.89$; NNFI=.90, CFI=.91, RMSEA=.05. (NNFI = Non- Normed Fit Index, CFI = Comparative Fit Index, RMSEA = Root Mean Square Error of Approximation.)

Los coeficientes de regresión oscilan entre 0.29 y 0.58 y representan la relación entre una variable y otra. A través del análisis de trayectorias, se especifica el modelo. Mediante este proceso, el se establecen las relaciones directas e indirectas entre las variables. Para determinar si los datos respaldan el modelo teórico bajo prueba, se establecen indicadores de Bondad de ajuste (Armenta y et al, 2012).

Otro análisis utilizado fue Chi-cuadrado (X^2) que constituye la medida de evaluación de ajuste global del modelo y evalúa la magnitud de la discrepancia entre la muestra y las matrices de covarianzas. Un buen ajuste del modelo proporcionaría un resultado en un umbral de 0,05. El NNFI (Non-Normed Fit Index) es una medida incremental de bondad de ajuste para un modelo estadístico, que tiene en cuenta el tamaño de las correlaciones en los datos y el número de parámetros en el modelo, el punto de corte sugerido es 0,95 como umbral. El CFI (The Comparative Fit Index) es el índice de ajuste comparativo que tiene en cuenta el tamaño de la muestra. Este estadístico determinan valores del rango entre 0,0 y 1,0, con valores cercanos a 1,0 indica un buen ajuste. El RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation) nos dice qué tan bien el modelo, con estimaciones de los parámetros desconocidos, que permite optimizar las variables elegidas en la matriz de covarianza de las poblaciones y modelo que ajuste bien tiene el límite inferior está cerca de 0, mientras que el límite superior debe ser inferior a 0,08 (Hooper, Coughlan y Mullen, 2008).

En el cuadro 3 se presentan los valores obtenidos y los valores recomendados para cada una de las pruebas estadísticas utilizadas en esta investigación. El análisis permite concluir que los resultados están dentro del rango aceptable o criterio límite; es decir, que las variables independientes se relacionan e influyen en la variable dependiente.

Cuadro 3. Valores para interpretación ajustes de bondad

Índice	Valor obtenido	Criterio límite	Interpretación
χ^2	33,6	> 0,50	Cumple criterio
NNFI	0,90	> 0,95	Cumple criterio
CFI	0,91	> 1,0	Cumple criterio
RMSEA	0,5	< 0,08	Cumple criterio

Los pesos factoriales fueron salientes y significativos ($p < 0,5$). Todos los indicadores de ajuste (χ^2 , NNFI, CFI, RMSEA), confirman que los datos respaldan el modelo teórico propuesto. La *variable disposición* es la que influye mayormente en el comportamiento ambiental hacia el recurso hídrico. Por su parte, la *variable competencia* influye también de manera significativa en el comportamiento ambiental adecuado hacia el recurso hídrico. Por último la *variable comportamiento* al considerarse en la prueba estadística como variable independiente fue la que presentó una menor correlación con el comportamiento ambiental adecuado hacia el recurso hídrico; eso comprueba que es la variable dependiente del modelo. De esta manera, en la creación del Plan educativo sobre uso del recurso hídrico, se deben de priorizar los contenidos, estrategias y actividades que fomenten y fortalezcan la *variable comportamiento* mayoritariamente, sin dejar de lado los otros dos elementos que ya muestran una relación directa con las acciones ambientales referentes al recurso hídrico.

Conclusiones

La Nueva Cultura del Agua, orienta a migrar de la actual creencia de abundancia a una de conservación y uso racional, entendiendo que la problemática del agua se vincula directamente con la problemática ambiental en general.

El agua es un tema intemporal, siempre actual, siempre importante, siempre relevante, siempre preocupante y, por tanto, la Nueva Cultura del Agua la visualiza desde la óptica moderna, debe ubicar este recurso acorde al contexto cultural vigente. Busca formar relaciones entre las acciones y las consecuencias que estas generan, tanto de manera positiva como con su impacto negativo.

Los datos indican que, a pesar de que existe una relación entre la disposición por actuar a favor del recurso hídrico, esta no influye de manera directa en el comportamiento que se presenta. En consecuencia, se debe de reforzar esa intención con actividades que conduzcan al incremento de las acciones que se realizan.

Es relevante identificar las variables que intervienen para la ejecución de acciones ambientales positivas y las correlaciones que existen entre ellas. Esto con el objeto de definir los elementos que se deben de reforzar al realizar la construcción de una intervención de educación ambiental.

Se evidencia la necesidad de crear un plan de educación ambiental que incluya y promueva el desarrollo de las competencias necesarias para lograr un comportamiento ambiental adecuado hacia el recurso hídrico.

Agradecimiento

El trabajo de campo para creación de este artículo se realizó gracias al apoyo económico brindado por el fondo de incentivos del Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica (CONICIT).

Referencias

- Álvarez, P., y Vega, P. (2009). Actitudes Ambientales y Conductas Sostenibles. Implicaciones para la Educación Ambiental. *Revista de Psicodidáctica*, 14, 245-260.
- Alzina, R. B. (Ed.). (2004). *Metodología de la investigación educativa* (Vol. 1). Editorial La Muralla.
- Armenta, M. F., Verdugo, V. C., Escobar, A. L., Méndez, S. D., y Bustamante, E. P. (2012). *Predictores familiares y conductuales de la problemática escolar en alumnos de secundaria y preparatoria*. *Revista de Psicología*, 19 (2), 237-256.
- Asunción, M. (2006) *Educación Ambiental No Formal*. <http://www.unescoeh.org/ext/manual/html/eanoformal.html>. Fecha de consulta 10 de marzo, 2010.
- Austin M. (200). Para comprender el concepto de Cultura. la Universidad Arturo Prat, Sede Victoria, Chile. Disponible en: http://www.javeriana.edu.co/Facultades/C_Sociales/Profesores/jramirez/PDF/Austin-concepto_de_cultura.pdf
- Baldi G., García E. (2005). Calidad de vida y medio ambiente. La psicología ambiental. *Universidades*, julio-diciembre, número 030 Unión de Universidades de América Latina (UDUAL) Distrito Federal, México. Págs. 9-16.
- Benayas, J., Poguntke C, y Marcén, C. (2003). De la teoría a la práctica en educación ambiental: el caso del agua. *Memorias del Congreso Agua y Educación Ambiental: Nuevas Propuestas Para la Acción*. Alicante.
- Blumstein D., Saylan C. (2007) The failure of environmental education (and how we can fix it). *PLoS Biol* 5(5): e120. doi:10.1371/journal.pbio.0050120.
- Brody, M. (1995). Development of a Curriculum Framework for Water Education for Educators, Scientists, and Resource Managers. *The Journal of Environmental Education*, 26 (4), 18-29.
- Calixto, R. (2009). X congreso nacional de investigación educativa. Las representaciones sociales del uso del agua. Memoria electrónica. 2009. Veracruz.
- Carmelo, A. (2003). Aportaciones desde la escuela a la nueva cultura del agua. *Memorias del Congreso Agua y Educación Ambiental*. Alicante
- Celina H. & Campo, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, XXXIV(4) 572-580. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=80634409>
- Cisneros, B, & Tundisi, J. (2012). Diagnóstico del agua en las Américas. *Red Interamericana de Academias de Ciencias*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Corral, V. (2001). Psicología ambiental y conducta protectora del medio, en Corral Verdugo, V. *Comportamiento Proambiental. Una introducción al estudio de las conductas protectoras del ambiente*. Santa Cruz de Tenerife. Ed. Resma. 2001. 266 páginas. p. 25-50.
- Díaz, F. Arceso, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo Una interpretación constructivista* (Segunda ed.). (M. G. Hill, Ed.) México.
- García, F. (2009). Naturaleza y cultura en el ser humano. Disponible en <http://profeblog.es/blog/fgarcia/files/2009/04/tema-7-naturaleza-y-cultura.pdf>
- Hernández, F., & Fava, O. (2006). Educación y participación ciudadana para una gestión sostenible del agua. In *Ciencia, técnica y ciudadanía, claves para una gestión sostenible del agua* (pp. 353-367). Fundación Nueva Cultura del Agua.
- Hollweg, K., Taylor, J., Bybee, R., Marcinkowski, T., McBeth, W., & Zoido, P. (2011). *Developing a framework for assessing environmental literacy*. Washington, DC: North American Association for Environmental Education. Available at <http://www.naaee.net>.
- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. R. (2008). Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1).

- Márquez, D. (2003). De la teoría a la práctica en los procesos de educación ambiental: el agua elemento dinámico. En *Agua y educación ambiental: Nuevas propuestas para la acción*. Alicante. CAM, pp.13-24.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) (2009). Política Hídrica Nacional. San José, Costa Rica
- Murga M., Novo, M. 2003. El desarrollo sostenible como eje fundamentante de la educación ambiental. Cátedra UNESCO de Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid, España
- Naciones Unidas. 2006. Segundo informe sobre desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo: El agua, una responsabilidad compartida.
- Novo, M. (1996). Revista Iberoamericana de Educación. Número 11 - Educación Ambiental: Teoría y Práctica La Educación Ambiental formal y no formal: dos sistemas complementarios. <http://www.rieoei.org/oeivirt/rie11.htm#Contenido>. Consulta: 05 de marzo 2010.
- Novo, María. 2003. La educación ambiental. Editorial, Universitas. Madrid, España.
- Peñas, V. 2011. El reto de la educación y sensibilización ambiental ciudadana en materia de aguas.
- Programa Estado de la Nación. (2009). Decimoquinto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Capítulo 4: Armonía con la naturaleza. San José, Programa Estado de la Nación.
- Prujel, E. A. (2010). Impacto de las políticas ambientales en el desarrollo económico y condiciones de vida dignas para los habitantes: El agua como elemento de vitalidad en el desarrollo del ser humano. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 6 (1), 181-201.
- Rodríguez-Becerra, M. (2002). Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: Evolución, tendencias y principales prácticas. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Rodríguez, C., Gallardo, M. A., Pozo, T., & Gutiérrez, J. (2006). Iniciación al análisis de datos cuantitativos en educación. Análisis descriptivo básico: teoría y práctica mediante SPSS.
- Rodríguez, F. 2005. Uso del suelo, prácticas culturales, sistemas productivos y sostenibilidad en las fincas de la subcuenca del río Tres Amigos, cuenca del río San Carlos. *Revista Pensamiento Actual*, de la Universidad de Costa Rica. Vol 5, N 6, pp 23-31.
- Rojas-Morales (2011). Atlas de cuencas hidrográficas de Costa Rica. Editorial San José, MINAET / IMN / PNUD, CR
- Valero, N. (2007). Sistematización de la educación ambiental: teoría y práctica como fusión metodológica. *EDUCERE. Investigación arbitrada*. 11(37), 315-325. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/356/35603718.pdf>. Consultado: Marzo 2012.
- Vargas, R. (2006). *La cultura del agua: lecciones de la América Indígena*. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, UNESCO.
- Vargas, R. y Piñeyro, N. (2005). El Hidroscopio. Un método participativo para desarrollar la Democracia del Agua. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Preferencias en la anidación de tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*) y baulas (*Dermochelys coriacea*) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica

Nesting preferences of hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and leatherback (*Dermochelys coriacea*) turtles in the Gandoca Manzanillo National Wildlife Refuge, Limón, Costa Rica

Lilliana Piedra-Castro¹, Vanessa Morales-Cerdas²

Fecha de recepción: 12 de enero del 2015

Fecha de aprobación: 15 de abril del 2015

Piedra-Castro. L; Morales-Cerdas, V. Preferencias en la anidación de tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*) y baulas (*Dermochelys coriacea*) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, Nº 3, Julio-Setiembre. Pág 86-98.

1 Máster en Manejo de vida Silvestre. Teléfono: (506) 88828982. Correo electrónico: lilliana.piedra.castro@una.cr. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional. Costa Rica.

2 Bachiller en Biología con énfasis en Biología Tropical. Teléfono: (506) 86958716. Correo electrónico: vane_moce@hotmail.com. Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional. Costa Rica.

Palabras clave

Gandoca; anidación; *Dermochelys coriácea*; *Eretmochelys imbricata*; preferencia.

Resumen

El Caribe costarricense es importante como sitio de alimentación, copulación, anidación y desove de las tortugas marinas, por lo que el presente trabajo pretendió actualizar el patrón de anidación en las tortugas marinas *Dermochelys coriacea* y *Eretmochelys imbricata* en el sector Gandoca, del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica, para proponer medidas de manejo. Se realizaron recorridos nocturnos entre las 8:00 p. m. y 4:00 a. m., la playa se dividió en cinco sectores, en estos se realizaron observaciones directas y de rastros, de las tortugas que elaboraron el nido, entre febrero y agosto del 2011 y 2012. Se registraron tres especies de tortugas marinas, *Dermochelys coriacea*, *Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas*. La anidación de tortugas baula tuvo su punto máximo entre marzo y julio; por su parte, las carey, entre mayo y junio (2011), y junio hasta agosto en el 2012. Se observó preferencia en la posición de la playa utilizada para construir sus nidos; la baula utiliza principalmente la parte media, mientras que la carey utilizó mayormente la parte baja para anidar ($t = 17.2525$). Se observó que la baula utilizó frecuentemente el sector C; sin embargo, no se encontraron diferencias en el uso de los sectores. Se concluye que ambas especies tienen preferencias en la selección de la zona de playa en que anidan; la carey en la parte baja cerca de la línea de costa y la baula en la parte media. Además, las tortugas baula utilizan indistintamente los diferentes sectores de la playa estudiada.

Keywords

Gandoca; nesting; *Dermochelys coriacea*; *Eretmochelys imbricate*; preference.

Abstract

The Caribbean region of Costa Rica is an important feeding, mating, nesting and spawning area for sea turtles, which exhibit site preference in beaches to build their nests. This study attempts to review the nesting pattern of sea turtles *Dermochelys coriacea* and *Eretmochelys imbricata* in the Gandoca sector of the National Wildlife Refuge Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica, to propose management actions. Between February and August of 2011 and 2012 night patrols were conducted between 8:00 p. m. to 4:00 a. m., in five sectors of beach, across Punta Mona and the Sixaola river mouth recording direct observations and tracks of nesting turtles only. A total of 1005 individuals of *D.coriacea*, 47 of *E.imbricata* and 6 of *Chelonia mydas* were recorded. Due to sampling size *C.mydas* was not taken into account for analyses. Leatherback nesting activity peaked between March and July in both years. Hawksbill from May to June in 2011 and June to August in 2012. Preferences were observed regarding the position in the beach used for nesting. Leatherbacks used the middle section of the beach mainly, while the hawksbill use mostly the bottom to nest ($t = 17.2525$). The leatherback seemed to use more frequently the C sector, however, no differences in the use of the sectors between turtles were found. It is concluded that both species have preferred nesting areas. Hawksbill uses more the bottom beach area near the shoreline while leatherback uses the middle area more. Also the leatherback turtles use interchangeably different sectors of the studied beach.

Introducción

Diferentes factores ecológicos, biológicos, químicos y físicos influyen en el éxito de eclosión de los nidos, por lo que algunos animales han desarrollado diferentes estrategias para aumentar la sobrevivencia de las crías. Por ejemplo, las tortugas marinas seleccionan determinados lugares para anidar, mostrando preferencias sobre las diferentes zonas y pendientes en la playa utilizadas para la construcción de los nidos.

Dicha selección depende, probablemente, de un conjunto de características como el oxígeno que fluye entre el sustrato, la salinidad que alcanza el suelo, la humedad relativa, la temperatura, el tipo y densidad de la arena, las luces artificiales que se encuentran en la localidad, la pendiente y la extensión de la playa. Estos factores son considerados determinantes para que el proceso reproductivo ocurra exitosamente, ya que son fundamentales en la preservación del nido y la eclosión de las crías (Zurita et al., 1993; Bolongaro et al., 2010).

El Caribe de Costa Rica representa uno de los sitios de mayor importancia para la anidación, alimentación, copulación, y desove de algunas especies de tortugas marinas (Chacón, 1999). Entre las que destaca la tortuga baula (*Dermochelys coriacea*) cuya anidación ha sido reportada en tres áreas protegidas, a saber, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA), la Reserva Forestal Pacuare-Matina (RFPM) y en el Parque Nacional Tortuguero (PNT) (Eckert, 1999). Se considera que esta colonia de baulas es la tercera en magnitud para la región del gran Caribe, y la cuarta en importancia a nivel mundial (Chacón-Chaverri, 2004a).

Por su parte, las tortugas carey anidan en las playas del PNT, el REGAMA y el Parque Nacional Cahuita (PNC). La población más representativa de esta especie en el Gran Caribe anida en la costa Mexicana, en la Península de Yucatán con más de 1000 hembras anidadoras/año (Meylan, 1999; Chacón-Chaverri, 2004b).

Actualmente, las zonas de anidación de tortugas marinas son vulnerables como consecuencia de las presiones naturales y antrópicas a los que están expuestos los ambientes costeros y que actúan sobre la morfología de la costa. Esto afecta los procesos de ovoposición por la disminución del espacio disponible y las constantes modificaciones de las playas, generando impactos negativos sobre el estado de estas poblaciones (Bolongaro *et al.*, 2010).

Estas condiciones así como la cacería y la extracción de huevos, han provocado que las tortugas baula y carey se encuentren incluidas dentro de la categoría de peligro crítico, según la UICN (2013). En tanto, que en el Reglamento a la Ley de Conservación de Vida Silvestre, Decreto N° 32633-MINAE, son consideradas en peligro de extinción así como en el apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Silvestres de Fauna y Flora (CITES, 2013).

Estas condiciones han sido otorgadas como consecuencia de la mortalidad de adultos y huevos por distintas causas como lo son el saqueo de nidos, la pérdida de nidadas por inundación o la erosión de las playas, la depredación natural e infecciones por microorganismos, la sobrepesca comercial, la captura accidental, la destrucción de los hábitats de alimentación y la contaminación de los mares (Bell *et al.*, 2003).

En Gandoca, Chacón (1999) estudió los patrones de anidación de la tortuga baula. Sin embargo, la estructura de la playa ha cambiado en relación con la pendiente, el ancho y la erosión de playa. Por lo que estas situaciones pueden haber cambiado. Por lo tanto, el presente trabajo pretendió actualizar el patrón de anidación en las tortugas marinas *Dermochelys coriacea* (tortuga baula) y *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) en el sector Gandoca, del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo (REGAMA), Limón, Costa Rica con el fin de proponer medidas de manejo.

Área de estudio

El sector Gandoca del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo (REGAMA), Limón, Costa Rica que fue creado en Julio de 1985 mediante el Decreto Ejecutivo 16614-MAF01 como área silvestre protegida y declarada como sitio RAMSAR, el 11 de diciembre de 1995; formando parte del Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLA-C) (Weitzner y Fonseca, 2000) (figura 1). El REGAMA comprende un área de 5013 hectáreas continentales y 4.436 hectáreas marinas (SINAC 2013). Se ubica en los 9°59.972' latitud norte y 82°60.530' longitud oeste con una extensión de 8,85 km desde Punta Mona hasta la desembocadura del río Sixaola (Matthew 2010), de los cuales, 7,4 km son áreas disponibles para la anidación y 1.1 km corresponden a zonas alrededor de las desembocaduras de ríos y quebradas (Chacón, 1999).

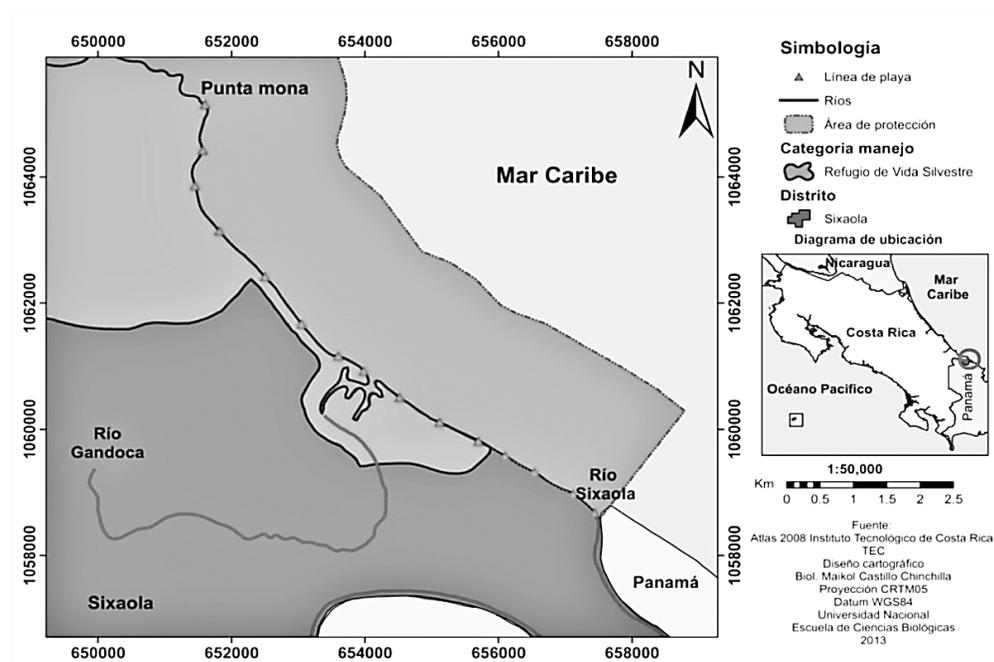


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El régimen de precipitaciones oscila entre los 2500 y 3100 mm anuales, y las temperaturas promedio varían entre 25°C y 27°C. El clima presenta dos estaciones lluviosas definidas, una entre noviembre y marzo y la segunda entre junio y agosto. La tasa de precipitación anual en este sector sur del REGAMA es menor, alrededor de 2500 mm en tanto que en la sección norte alcanza hasta 3100 mm. El microclima se caracteriza por lluvias nocturnas y períodos soleados durante el día (Herrera, 1984). Las mareas son mixtas, principalmente diurnas, con una amplitud de 30 hasta 50 cm. Las corrientes fluyen de noroeste a sureste, con pequeños remolinos en dirección opuesta (Cortés, 1994).

Dentro de las asociaciones vegetales que prevalecen se encuentra la transición entre palmares pantanosos y bosque húmedo tropical o palmar mixto (Coll *et al.*, 2001). La playa se caracteriza por su alta energía y pendientes, con corrientes marinas fuertes, aguas profundas muy cerca de la costa y las formaciones coralinas presentes en el sector de Punta Mona (Chacón, 1999). Sin embargo, esta playa se ha modificado drásticamente en los últimos años, aumentó la pendiente de la misma y los signos de erosión son cada vez más marcados que podrían ser en respuesta al aumento del nivel del mar en el Mar Caribe (figura 2). Además, debido al aprovechamiento

forestal en la cuenca del río Sixaola y las quebradas de la zona se da el arrastre y acumulación de madera y desechos orgánicos a lo largo de la playa (Programa de Conservación de Tortugas Marinas, Caribe Sur, Costa Rica, 2006).



Figura 2. Cambios observados en la playa de Gandoca entre el 2008 (A) y 2013 (B)

Materiales y métodos

La playa se dividió en cinco sectores denominados A, B, C, D y E, el primer sector inicia en Punta Mona y finaliza en la desembocadura del río Sixaola. Cada sector fue marcado con mojones separados a una distancia de 50 m. Se realizaron dos recorridos nocturnos, cada uno con una duración de cuatro horas, el primero se desarrolló entre las 20:00 y las 24:00 horas; en tanto que el segundo ocurrió entre las 24:01 y las 4:00 a. m. Se registraron las observaciones directas y los rastros de las tortugas marinas que anidaron entre febrero y agosto del 2011 y 2012.

El registro consistió en anotar el sector, mojón y posición de la playa donde anidó la tortuga, siendo alta, media y baja; la fase lunar así como presencia o ausencia de lluvia durante el proceso de anidación.

El análisis de los datos consistió en una prueba t de comparación de medias para una $p < 0.05$, con la previa comprobación de la normalidad y homogeneidad de varianza de los datos. Para los análisis estadísticos de los datos de anidación durante los dos años se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV, Info Stat (versión 2013I) y Excel Microsoft office Excel 2007 para la elaboración de las figuras.

Resultados

Durante el 2011 y 2012, en la playa del sector Gandoca del REGAMA se observó la presencia de tres especies de tortugas marinas anidando, a saber: *Dermochelys coriácea* o tortuga baula que presentó 1005 registros; *Eretmochelys imbricata* o tortuga Carey con 47 registros; y *Chelonia mydas* o tortuga verde con solamente 6 registros.

El periodo de anidación de la tortuga baula ocurre, principalmente, durante los meses de marzo hasta finales de julio. Este patrón fue coincidente para ambos años analizados. Los periodos donde la anidación presentó el menor número de eventos se presentó entre enero, febrero y agosto, con un importante aumento durante el mes de marzo, con un punto máximo durante el mes de mayo del 2011 en el que se registraron 209 individuos; y en abril del 2012 con el registro de 229 individuos (figura 3).

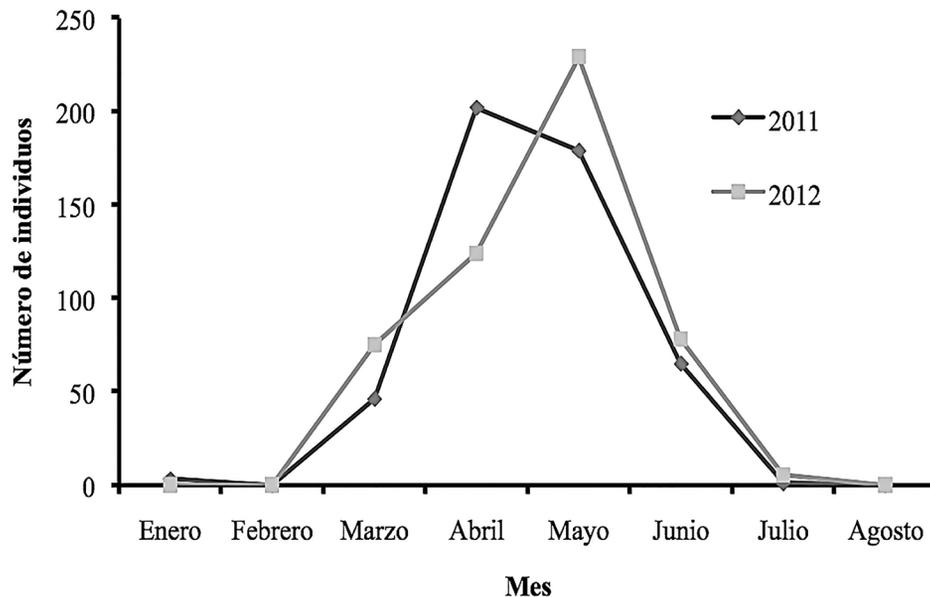


Figura 3. Tortugas baulas observadas mensualmente durante el período 2011-2012 en el sector Gandoca, REGAMA, Limón, Costa Rica.

Las tortugas carey fueron registradas anidando entre los meses de abril y julio en el 2011, con un punto máximo en mayo y junio. Mientras que, para el año 2012, se tuvieron registros desde mayo hasta agosto, en este último se obtuvo el mayor número de individuos registrados con un total de 8, en tanto las tortugas verdes se avistaron principalmente durante el mes de marzo (5 individuos) y en agosto (1 individuo) de este mismo año.

Durante el periodo de estudio, se registraron un total de 226 nidos, de los cuales 197 (87, 17%) corresponden a nidadas de la tortuga baula y los 29 restantes a la tortuga carey, mientras que la tortuga verde no se tuvo registros de que elaborara algún nido. Debe mencionarse que 152 (67,25 %) nidos fueron registrados en el 2011 mientras que, durante el 2012, solo se registraron 74; mostrándose una disminución considerable en la cantidad de nidos durante el segundo año.

Para ambas especies estudiadas, se observó preferencia en la posición de la playa que utilizan para construir y ovopositar los nidos. En el caso particular de la tortuga baula, muestra preferencia para emplear con mayor frecuencia la parte media, mientras que la tortuga carey utilizó, principalmente, la parte baja o sea, más cercana a la línea de pleamar para anidar ($t(223) = 17.26, p \leq 0.05$) (figura4).

El sector de la playa en la zona de estudio que la tortuga baula utilizó con mayor frecuencia fue el sector C. Éste fue donde recurrió para la elaboración de los nidos, para un total de registros de 130. Seguidamente empleó los sectores B y D.

En el caso de las tortugas carey, la mayor cantidad de nidos fueron construidos en el sector E, el cual fue usado exclusivamente por esta especie. Mientras que el sector A fue empleado por las tortugas baula y carey en proporciones similares (figura 5). A pesar de lo anteriormente mencionado, no se encontró diferencias significativas en el uso de los sectores para ninguna de las especies ($t(6) = 2.21, p \leq 0.05$).

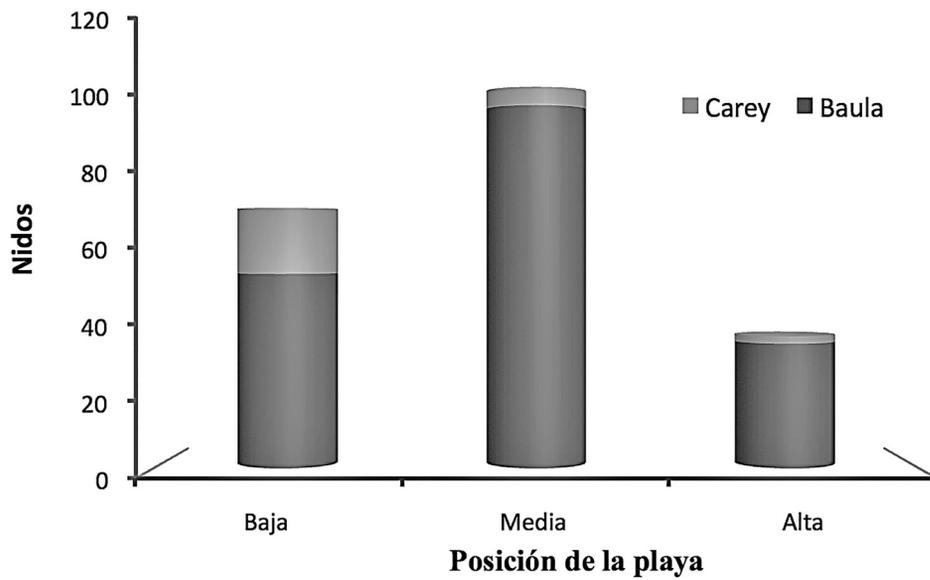


Figura 4. Nidos construidos según la posición de la playa por las tortugas carey y baula durante el periodo 2011-2012 en el sector Gandoca, REGAMA, Limón, Costa Rica.

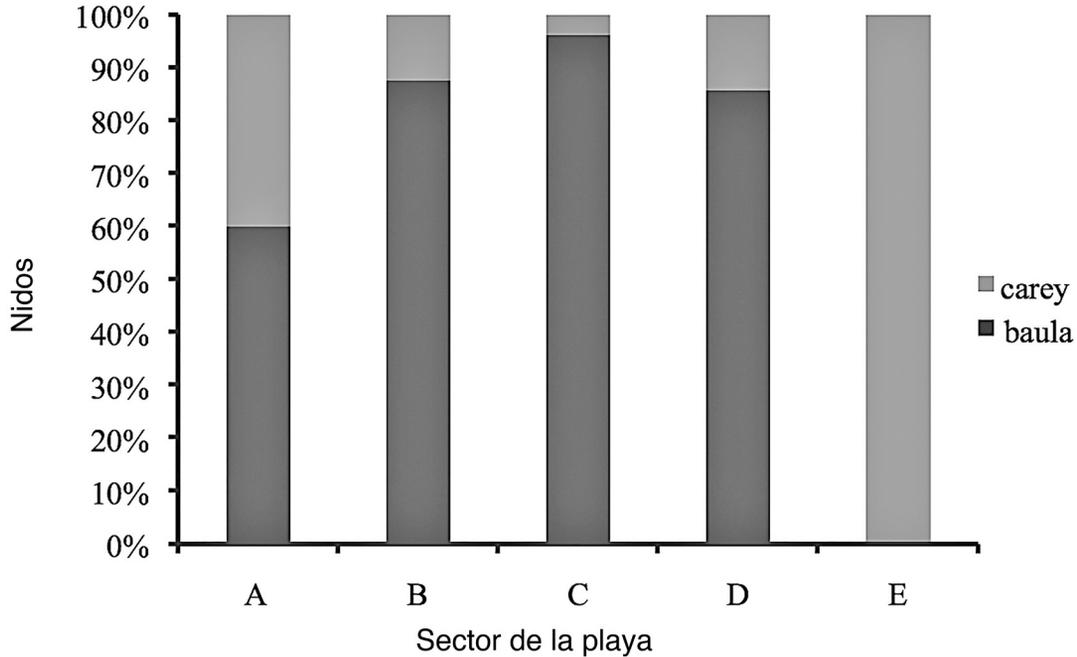


Figura 5. Nidos construidos según los sectores de la playa por las tortugas carey y baula durante el periodo 2011-2012 en el sector Gandoca, REGAMA, Limón, Costa Rica.

La cantidad de nidos varió según la fase lunar, tanto para las tortugas baula como para la carey. Presentaron el mismo comportamiento para el cuarto menguante, que fue el período donde se registro la máxima cantidad de nidos ovopositados. Mientras que durante la luna llena y nueva, se registraron el número más bajo de nidadas observadas (figura 6). No obstante, no se

determino diferencias significativas entre el número de nidos construidos según la fase lunar ($t(8) = 2.64, p \leq 0.05$).

Discusión

Los factores que influyen en la selección de los sitios de anidación de las tortugas marinas parecen ser múltiples, y su importancia radica en el hecho de que determinan el éxito de la nidada, el adecuado desarrollo de los embriones, la emergencia y supervivencia de los neonatos.

Dentro de las especies de tortugas marinas que visitan el Caribe de Costa Rica, la baula es la que alcanza las mayores dimensiones y el mayor peso; por ende, el proceso de desplazarse sobre la playa representa un mayor esfuerzo energético para ella. Dada esta condición es de esperar, que ésta no se adentre mucho en la playa para anidar. En Gandoca, Costa Rica; las baulas ovopositaron mayormente en la zona media, de igual forma que lo observado por Quiñones *et al.*, (2007) en Chocó, Colombia. Según Chacón (1999), el 32% de las nidadas fueron puestas en la berma, 37% en la zona de marea alta y 31% en la zona de marea baja y, a su vez, indica, para 1991, el 64% de los nidos fueron localizados entre las líneas de marea, con el subsecuente riesgo de pérdida.

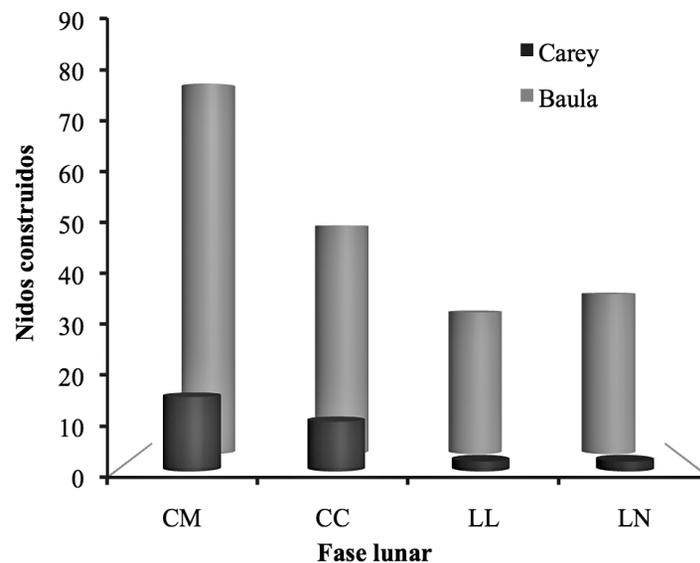


Figura 6. Nidos construidos según la fase lunar durante la construcción del nido por las tortugas carey y baula durante el periodo 2011-2012 en el sector Gandoca, REGAMA, Limón, Costa Rica. CM: cuarto menguante, CC: cuarto creciente, LL: luna llena y LN: luna nueva.

Con los cambios observados en la morfología de la playa, el anidamiento en la zona media de la playa contribuye con la conservación de la especie en el corto plazo, debido a que el aumento en el nivel del mar en el Caribe podría reducir las áreas potenciales de anidación de las tortugas marinas. Preocupa el caso de la tortuga carey, que anida principalmente en la zona baja de la playa aumentando el riesgo de pérdida de nidos, el cual aumenta cada año dado los pronósticos del IPCC (2003). Es urgente atender esta última especie mediante planes de manejo que aseguren la protección de los nidos y para las dos, se debe discutir la posibilidad de manejar viveros fuera de la playa por la alta energía de estas que las hacen inestables.

La anidación en esta zona de la playa supone un menor esfuerzo para la hembra y un menor riesgo de quedar varada o bloqueada por los obstáculos presentes en la playa tales como los troncos de árboles caídos o arrastrados por las mareas, así como la vegetación. Sin embargo, los signos evidentes de erosión en la playa dificultan el ingreso a la zona media, obligando a la hembra a ovopositar en la zona baja o buscar otras playas.

Además, a esto se le suma la presencia de pendientes que le impiden avanzar hacia las áreas más elevadas y las zonas erosionadas que se encuentran a lo largo de la playa. Estas condiciones podrían afectar las nidadas, modificando la humedad relativa en el nido y causando un incremento en la mortalidad de las crías (Bolongaro *et al.*, 2010). De igual manera, si los nidos se colocan cerca de la línea de la pleamar hay un riesgo inminente de ser inundados o arrastrados por las olas (Eckert, 1987).

Según Eckert (1999), las hembras de baula prefieren playas donde la plataforma continental sea corta, que tengan accesos abiertos, con costas de alta energía, fuerte corriente, oleaje alto y sin contacto con rocas o corales que puedan serle abrasivos durante el proceso de alcanzar la playa para anidar. Estas condiciones explican por qué la menor presencia de nidos en el sector A, el cual corresponde a la zona de Punta Mona donde se presentan formaciones coralinas así como la isla Pájaros que dificultan el ingreso de esta especie. Por el contrario, los sectores B, C y D corresponden a zonas que presentan algunas de las condiciones mencionadas por dicho autor siendo por tanto preferidas para la anidación.

La zona de preferencia para la anidación de la tortuga carey se ubicó en la parte baja de la playa, al igual que lo reportado por Bolongaro *et al.*, (2010) en la playa Chenkan en el Golfo de México. Sin embargo, autores como Medina-Cruz *et al.*, (2010) y Chacón-Chaverri (2004 a) señalan que las tortugas carey seleccionan zonas cercanas a la vegetación terrestre o bajo ella para anidar, explicando dicho comportamiento con la presencia de raíces que contribuye a que la arena esté menos compacta, propiciando un sustrato adecuado para la construcción de los nidos, en comparación, con las zonas desprovistas de vegetación en donde el grado de compactación es mayor (Horrocks y Scott, 1991; Chen y Cheng, 1995).

A su vez, algunos autores sugieren que debe considerarse que cuando el nido se coloca en la vegetación, el riesgo asociado está representado por la penetración de raíces a la cámara del mismo y la destrucción de los huevos. También puede influir sobre el éxito de emergencia de las crías, ya que algunas podrían quedar atrapadas en las raíces o la vegetación (Wood y Bjorndal, 2000). Otro aspecto es la posibilidad de desorientación de las crías en su camino hacia el mar (Kamel y Mrosovsky, 2004) debido a que deben recorrer una distancia mayor aumentando la posibilidad de no alcanzar las olas o bien, sean susceptibles a la depredación (Mrosovsky, 1983; Horrocks y Scott, 1991). Estos factores podrían contrarrestar el efecto de la compactación del terreno en áreas sin vegetación y propiciar que las zonas bajas sean beneficiosas para los neonatos durante la emergencia y su recorrido hacia el mar.

Por otra parte, el sector utilizado en mayor proporción por las tortugas carey fue el sector E, que se encuentra en las cercanías de la desembocadura del río Sixaola. Este presenta escombros, troncos y árboles que son arrastrados por las corrientes del río hasta la playa; y propicia cambios en el panorama de la playa, dificultando el acceso de las tortugas hacia el interior (Chacón, 1999). Por tanto, la parte baja es la que está accesible para que esta especie construya sus nidos.

Sin embargo, se debe mencionar que Bolongaro *et al.* (2010) discute sobre los riesgos de la elaboración de los nidos en la parte baja de la playa, indicando que tienen una menor probabilidad de sobrevivencia por el exceso de humedad, lo cual aumenta la mortalidad de huevos por asfixia (Whitmore y Dutton, 1985). Sin embargo, en el presente trabajo no se comprobó el éxito de eclosión de estos nidos.

Por su parte, la luna es considerada como un generador de energía indirecta que ejerce atracción sobre los cuerpos sólidos y líquidos, determinando las mareas oceánicas e influyendo en las actividades fisiológicas de las plantas y animales (Alonso *et al.*, 2002). Se ha reportado, que, en muchas especies animales, la luna llena y nueva incrementa perceptiblemente la tasa de actividad física, el metabolismo, la agresividad y la conducta sexual (Lieber, 1984). Sin embargo, en este estudio se observó que en las fases de luna llena y luna nueva se registró el menor número de nidos. Esto, probablemente se explicada por la cantidad de luz reflejada en la playa, durante la luna llena, que produce un incremento de la cantidad de horas luz durante la noche y la intensidad lumínica mayor, aumentando el grado de exposición de las tortugas y, por ende, el aumento de las probabilidades de que los huevos o la tortuga sea depredada (Higuera-Moros *et al.*, 2002).

Por el contrario, durante luna nueva, la cantidad de luz es escasa, lo que podría dificultar la capacidad de las tortugas para orientarse en la playa. O bien, podrían estar ocurriendo procesos de copula en el mar (Lieber, 1984), ya que esta suele ocurrir en la superficie de aguas someras cercanas a las playas de anidación (Carr *et al.*, 1978). Mientras que en cuarto creciente y cuarto menguante la cantidad de luz no es ni excesiva ni escasa, brindando a estas especies un escenario ideal para la anidación. Se considera que, el ciclo reproductivo es sincrónico con las fases lunares (Márquez *et al.*, 1976; Casas, 1978); para el caso de especies que presentan arribadas, éstas ocurren durante el cuarto menguante (Briceño, 1980). Lo cual coincide, parcialmente, con lo reportado para la baula y la carey en el sector Gandoca del REGAMA y que, aunque no mantienen comportamiento de arribadas, el mayor número de nidos se elaboró durante esta fase lunar.

Sin embargo, en el Pacífico Mexicano, el número de hembras baula que ingresan para anidar aumenta considerablemente durante las noches más oscuras; es decir, durante luna nueva (Márquez *et al.*, 1981). En el Pacífico Sur de Costa Rica durante la temporada del 2011 los eventos de anidación de varias especies, incluidas la baula y la carey fueron menores durante la luna llena, en tanto, las otras fases lunares no mostraron ningunas tendencia durante los meses de estudio (Viejobueno *et al.*, 2012).

Debe considerarse lo indicado por otro autores como Ackerman (1997), quien cuestiona que exista una relación entre el ciclo lunar y la actividad de anidación de las tortugas marinas. Mientras que Lohmann *et al.*, (1997) y Witherington y Martin, (2003) sugieren que las tortugas anidan en un determinado período lunar, previendo que la eclosión de las crías ocurre en la fase de cuarto creciente o luna llena, para facilitar la ubicación de los neonatos respecto al océano durante la noche, siendo guiados por el resplandor de la luz de la luna en la espuma de las olas y la claridad misma de estas (Sánchez, 2007).

Además, se debe considerar el grado de influencia de luz artificial, el tipo e intensidad de esta en la iluminación de las playas. Dicho factor ha sido reportado como una elemento que influye en el número de hembras anidando o el número de anidaciones exitosas. Debido a que causa cambios en el comportamiento de anidación principalmente porque las luces artificiales son interpretadas por las tortugas como luz diurna de modo que las tortugas no salen a anidar, por ejemplo Médicci *et al.*, 2009, en un estudio en Cipara, Venezuela encontró una diferencia en la proporción de salidas de tortugas baula y la construcción de nidos entre los años en los que la playa carecía y en los que presentaba electricidad, y presentó un disminución en el periodo en que la playa estaba iluminada. En el caso del sector de Gandoca del REGAMA, este factor es irrelevante para explicar la llegada del número de tortugas anidantes.

Durante el año 2012 en el REGAMA se registro una disminución en número de anidaciones en comparación con el año 2011. Chacón (1999), reportó una variación en el numero de nidadas entre los años 1990 y 1997, en donde durante el año 1996 se da un aumento en el

numero de nidos construidos, pero en 1997 se da un notable descenso. La disminución en la cantidad de hembras anidantes o bien en el número de nidos elaborados en el REGAMA podría estar relacionada con diferentes factores ambientales como las precipitaciones, cantidad de escombros en la playa, o bien por características intrínsecas de las poblaciones como tasa de mortalidad o de reclutamiento de hembras. Después de su esfuerzo reproductivo, la hembra vuelve a la zona de alimentación, donde se mantiene reproductivamente inactiva durante un periodo variable de años, para acumular energía para la nueva época reproductiva, lo cual implica que no todos los años la cantidad de hembras anidantes sea alta, o bien se mantenga una proporción constante.

Por otra parte Según Pacheco, 2008, las tortugas baula tienen la capacidad de distinguir sitios con características topográficas inadecuadas, ejemplo por efecto de las lluvias, que las inducen a no desovar en esas partes de la playa, en el caso del REGAMA la playa está expuesta a fuertes oleajes y se dan procesos erosivos evidentes que hacen que muchos sectores de la playa no estén disponibles para anidar, esto podría contribuir en la disminución de nidadas que se presentó durante la temporada 2012, ya que en algunas playas sujetas a erosión se forman rompeolas y terrazas verticales que constituyen serias barreras físicas para las tortugas, de modo que se pueden ver obligadas a recorrer grandes trechos paralelos a la costa o bien regresan al mar para anidar en otros tramos más alejados (Bolongaro *et al.*, 2010).

En conclusión, el pico de anidación para la tortuga baula fue entre marzo y finales julio, y para la carey entre abril y julio en el 2011 con un desplazamiento en el 2012 para mayo hasta agosto, además, se dan preferencias en la selección de la zona de playa, la carey anida en la parte baja cerca de la línea de costa y la baula en la parte media. Asimismo, ambas especies utilizan indistintamente los diferentes sectores de la playa para anidar, el mayor número de nidos se ubican en el sector C para la baula y el sector E para la carey. Por último, durante el cuarto creciente y menguante se registran el mayor número de anidaciones; sin embargo, las fases lunares no determinan la cantidad de anidamientos.

Por lo tanto, se recomienda remover los escombros que representen un obstáculo para el desplazamiento de las tortugas en la playa, así como desarrollar un plan de aprovechamiento de escombros de madera por vecinos de zona, para reducir los costos de remoción y aumentar la efectividad, también evaluar las condiciones de playa respecto a los procesos erosivos que podrían dificultar la anidación de las tortugas.

Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento a la ASOMIPAG de la localidad de Gandoca, a los funcionarios del REGAMA, al Área de Conservación La Amistad Caribe del Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía. A los líderes de patrulla por su trabajo abnegado, a los voluntarios nacionales e internacionales que visitaron el proyecto. A Maikol Castillo, por sus constantes aportes.

Bibliografía

- Ackerman, R. (1997). The Nest Environment and the Embryonic Development of sea Turtles. In: Lutz P y Musick, J. (Editores). *Biology of Sea Turtles*. Págs.83 - 106.
- Alonso, J., Febles, G., Ruiz, T.E. y Gutiérrez, J.C. (2002). Efecto de la fase lunar en el establecimiento de piñón florido (*Gliricidia sepium*) como cerca viva. *La Habana Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Págs. 36(2),187.
- Bell, B., Spotila, J.R., Paladino, F.V. y Reina, R. D. (2003). Low reproductive success of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, is due to high embryonic mortality. *Biol. Cons.* Págs. 115, 131-138.

- Bologaro, A., Márquez, Z., Torres, V. y García, A. (2010). Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, p. 73-96. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.), Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Semarnat-INE, UNAM-ICMyL (pp. 514). Universidad Autónoma de Campeche.
- Briceño, R. (1980). Aspectos biológicos y protección de la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz), en la playa el Verde, Sinaloa (temporadas 1975 - 1977). Tesis. CICIMAR. Baja California Sur. Pág. 54.
- Carr, A., M. H. Carr y A. Meylan. (1978). The ecology and migrations of sea turtles, 7. The West Caribbean green turtle colony. Bull. Amer. Mus. Natur. Hist. Págs. 162, 1-46.
- Casas, A. (1978). Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. Centro Cienc. del Mar y Limn, Univ. Nac. Autónoma México. Págs. 5(1). 141-158.
- Chacón, D. (1999). Anidación de la tortuga *Dermochelys coriacea* (Testudines: Dermochelyidae) en playa Gandoca, Costa Rica (1990 a 1997). Rev. Biol. Trop. Págs. 47(1-2), 225-236.
- Chacón-Chaverri, D. (2004 a). Sinopsis sobre la tortuga baula (*Dermochelys coriacea*). Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las de las tortugas marinas de América Latina y el Caribe, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Asociación ANAI/WIDECAST. Costa Rica.
- Chacón-Chaverri, D. (2004 b). Tortugas carey del Caribe; biología, distribución y estado de conservación. Programa de Conservación de las tortugas marinas de América Latina y el Caribe, del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Asociación ANAI/WIDECAST. Costa Rica.
- Chen, T.H. y Cheng, I.J. (1995). Breeding biology of the green turtles, *Chelonia mydas* (Reptilia: Cheloniidae) on Wan-an Island, Peng-hu Archipelago, Taiwan. I. Nesting ecology. *Mar. Biol.* Págs. 124, 9-15.
- CITES, (2013). Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Recuperado el 12 de septiembre de 2013 de <http://www.cites.org/eng/app/2013/E-Appendices-2013-06-12.pdf>.
- Coll, M., Fonseca, A. y Cortés, J. (2001). El manglar y otras asociaciones vegetales de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. Págs. 49(2), 321-329.
- Cortés, J. (1994). A reef under siltation stress: a decade of degradation: 240-246. In: R.N. Ginsburg (compiler). Proc. Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History, 1993. RSMAS, Univ. Miami, Miami, Florida.
- Costa Rica. Poder Ejecutivo. (2005). Reglamento Ley de Conservación de la Vida Silvestre, Decreto N.º 32633 MINAE. San José, Costa Rica.
- Eckert, K. (1999). Estado de Conservación y Distribución de la Tortuga Laúd, *Dermochelys coriacea*, en la Región del Gran Caribe. "Conservación de Tortugas Marinas en la Región del Gran Caribe –Un Diálogo para el Manejo Regional Efectivo", Santo Domingo, 16-18 de noviembre de 1999.
- Eckert, K.L. (1987). Environmental unpredictability and leatherback sea turtle (*Dermochelys coriacea*) nest loss. *Herpetologica*. Págs. 43, 315-323.
- Herrera, W. (1984). Clima de Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), San Jose, Costa Rica. Pág. 118.
- Higuera-Moros, A., Camacho, M. y Guerra, J. (2002). Efecto de las fases lunares sobre la incidencia de insectos y componentes de rendimiento en el cultivo de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Revista UDO Agrícola. Págs. 2 (1), 54-63.
- Horrocks, J. A. y Scott, N. (1991). Nest site selection and nest success in the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricata* in Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series*. Págs. 69, 1-8.
- Kamel, S.J. y Mrosovsky, N. (2004). Nest site selection in leatherbacks, *Dermochelys coriacea*: individual patterns and their consequences. *Animal Behaviour*. Págs. 68, 357-366.
- Lieber, A. (1984). El influjo de la luna. Revelación científica dramáticamente unida a nuestra vida. Madrid. Ed. Artes Gráficas. EMA. Pág. 189.
- Lohmann, K., Whitherington, B., Lohmann, C y Salmon, M. (1997). Orientation Navigation and Natal Beach Homing in Sea Turtles. En: Lutz, P, Musick, J. y Wyneken, J. (Eds). Biology of Sea Turtles. Págs. 107 - 136. Florida. CRC Press.
- Márquez, M., Villanueva, R. y Peñaflores, C. (1976). Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz-1829) I.N.P. Págs. (2), 61.
- Márquez, R., Villanueva, A. y Peñaflores, C. (1981). Anidación de la tortuga Laud (*Dermochelys coriacea*) en el Pacífico Mexicano. Inst. Nal. Pesca. Mexico. Págs. I (1): 45-52.

- Matthew, J. S. (2010). Beach erosion and nest site selection by the leatherback sea turtle *Dermochelys coriacea* (Testudines: Dermochelyidae) and implications for management practices at Playa Gandoca, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Págs. 58 (4), 1237-1246.
- Médicci, R., Buitrago, M. y Michael, J. (2009). Impacto de la luz artificial sobre la anidación de la tortuga marina *Dermochelys coriacea* (Testudines: Dermochelyidae), en playa Cipara, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* Págs. 57 (3), 515-528.
- Medina-Cruz, Y., Moncada-Gavilán, F. y Nodarse-Abreu, G. (2010). Selección del sitio de anidación y éxito de eclosión en nidos de tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*). *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras.*, 27(1), 60-65.
- Meylan, A. B. y Donnelly, M. (1999). Status justification for listing the hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) as Critically Endangered on the 1996 IUCN Red List of Threatened Animals. *Chelonian Conservation and Biology.* Págs. 3 (2), 200-224.
- Miller, J., Limpus, C. y Godfrey, M. (2003) Nest site selection oviposition, eggs, development, hatching, and emergence of loggerhead turtles. EN: Bolten AB, Witherington BE (eds) *Loggerhead sea turtles.* Smithsonian Books, Washington, DC. Págs. 125-143.
- Mrosovsky, N. (1983). *Conserving Sea Turtles.* British Herpetological Society; London. 1-176 pp. Murray, P.A. 1984. National Report for St. Lucia. In: Bacon, P., Berry, F., Bjorndal, K., Hirth, H., Ogen, L., and Weber, M. (Eds.). *Proc. of the Western Atlantic Turtle Symposium.* Págs. 3, 370-380.
- Pacheco, F. (2008). *Las Enigmáticas Tortugas Baula.* Universidad Nacional. Pág. 61.
- Programa de Conservación de Tortugas Marinas del Caribe Sur, Talamanca, Costa Rica. (2006). Anidación de la tortuga baula *Dermochelys coriacea*, en la playa de Gandoca, Caribe Sur, Costa Rica. Limón. Pág. 52.
- Quiñones, L., Patiño-Martínez, J. y Adolfo, M. (2007). Factores que influyen en la puesta, la incubación y el éxito de eclosión de la tortuga laúd, *Dermochelys coriacea*, en La Playona, Chocó, Colombia. *Rev. Esp. Herp.* Págs. 21, 5-17.
- Sánchez, F. (2007). Programa de conservación, investigación y educación de tortugas marinas en la Península de Osa, Playas Carate, Río Oro, Pejeperro y Piro. Reporte técnico temporada 2006.
- SINAC. 2013. Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo. [En línea]. <http://www.sinac.go.cr/AC/ACLAC/rnmvsgm/Paginas/default.aspx> [Junio, 2013].
- IUCN, (2013). The IUCN Red List of Treatenend Species. *Dermochelys coriacea*. Recuperado el 20 de julio de 2013 de <http://www.iucnredlist.org/details/6494/0>.
- IUCN, (2013). The IUCN Red List of Treatenend Species. *Eretmochelys imbricata*. Recuperado el 20 de julio de 2013 de <http://www.iucnredlist.org/details/8005/0>.
- Viejobueno, S., Adams, C. y Arauz, R. (2012). Conservación e investigación de tortugas marinas en el Pacífico de Costa Rica (Punta Banco, Refugio Nacional de Vida Silvestre Caletas-Arío, San Miguel, Costa de Oro y Corozalito). Reporte técnico, Julio 2011 – Febrero, 2012. Pretoma.
- Weitzner, V. y Fonseca, M. (2000). Cahuita, del conflicto a la colaboración en cultivar la paz: Conflicto y Colaboración en el Manejo de Recursos Naturales. Ed Daniel Bucles, Canadá. 23- 48 pp.
- Whitmore, P. y P. Dutton. (1985). Infertility embryonic mortality and nest site selection in leatherback and green sea turtles in Suriname. *Biol. Conserv.* 34, 251-272.
- Witherington, B. y Martin, E. (2003). Entendiendo, evaluando y solucionando los problemas de contaminación de luz en playas de Anidamiento de tortugas marinas. Reporte Técnico. Florida Institute. Pág. 70.
- Wood, D.W. y Bjorndal, K.A. (2000). Relation of temperature, moisture, salinity and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. *Copeia.*, 2000. Págs. 119-128.
- Zurita G., Herrera, R. y Prezas, B. (1993). Tortugas marinas del Caribe. Págs.. 735-751. En: S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds). *Biodiversidad Marina y costera de México.* Conabio y Ciqro, México. Pág. 865 .

Metodología iterativa de desarrollo de *software* para microempresas

Iterative *software* development methodology for micro-enterprises

Luis-Alexander Calvo-Valverde¹

Fecha de recepción: 1 de octubre del 2014

Fecha de aprobación: 3 de febrero del 2015

Calvo-Valverde, L. Metodología iterativa de desarrollo de *software* para microempresas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 99-115.

¹ Centro de Investigaciones en Computación. Escuela de Ingeniería en Computación. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: lcalvo@itcr.ac.cr

Palabras clave

Desarrollo de software; calidad; metodologías.

Resumen

En los últimos años, Costa Rica ha experimentado un creciente aumento en el número de microempresas de desarrollo de software, pero este crecimiento no ha ido acompañado del uso de metodologías apropiadas para el desarrollo de software en este tipo de empresas. Esta situación se debe a varios motivos: carencia de formación en ingeniería de software por parte de los creadores de la compañía, urgencia aparente de producir código a toda costa en detrimento de la planificación, uso inadecuado de metodologías que generan un exceso de trabajo administrativo, entre otros.

Aunado a lo anterior, el mundo empresarial vive vertiginosas transformaciones que demandan soluciones que rápidamente se adapten a los cambios. Las metodologías de desarrollo iterativas, como la propuesta en el presente trabajo, permiten más ágilmente adaptarse a esta variabilidad de requerimientos que vive el sector de TI.

El presente trabajo hace un diagnóstico sobre las características de las microempresas costarricenses de desarrollo de software; seguidamente, determina las mejores prácticas en las metodologías de desarrollo de software, para luego hacer un análisis comparativo y proponer una metodología de desarrollo que se adecúe a este tipo de organizaciones.

Keywords

Development of software; quality; methodologies.

Abstract

In recent years, Costa Rica has experienced a steady increase in the number of micro software development companies, but this growth has not been accompanied by the use of appropriate software development methodologies for such companies. This situation is due to several reasons: lack of knowledge on software engineering, urgency to generate code without much planning, inappropriate use of methodologies that generate excessive administrative work, among others.

In addition, the business world undergoes dizzying transformations that require solutions that quickly adapt to changes. The iterative development methodologies allow more nimbly adapt to this variability of requirements that the sector of IT.

This paper makes an assessment of the characteristics of Costa Rican micro software development companies, then determines the best practices in software development methodologies and then do a comparative analysis and propose a development methodology that suits this type of organizations.

Introducción

Aquellas personas emprendedoras que se han lanzado al reto de constituir una microempresa de desarrollo de *software* encuentran varios obstáculos de entrada al mercado, uno muy importante es que no existe mucha documentación sobre la aplicación de metodologías de

desarrollo de *software* para este tipo de empresas. La mayor parte de la literatura existente está enfocada sobre todo a grandes y medianas empresas.

Comprobar la anterior afirmación fácil: basta buscar en internet, en el mercado o en una biblioteca, qué metodologías de desarrollo de *software* están pensadas para microempresas y se verá que son muy pocas. Muestra que la mayoría de metodologías de desarrollo de *software* no están pensadas en microempresas es que dichas metodologías al definir roles y responsabilidades de los miembros del equipo del proyecto se nota cómo se está pensando en equipos mucho más grandes que los normalmente manejados en una microempresa.

La situación anteriormente mencionada no es extraña al contexto costarricense, en Costa Rica la adopción en las microempresas de metodologías de desarrollo de *software* creadas para medianas y grandes empresas se vuelve un obstáculo importante sobre todo porque las microempresas –por su corta estructura administrativa, no más de cinco empleados– urgen de reducir los costos administrativos en los proyectos y entregar productos de alta calidad pues normalmente se ejecutan muy pocos proyectos a la vez y por tanto los ingresos dependen de uno o dos proyectos en ejecución.

El presente trabajo constituye un aporte a estos microempresarios al presentarles una propuesta metodológica que vele por la calidad en el desarrollo de *software* adecuada a su tipo de organización.

Situación del problema

En Costa Rica hay una gran cantidad de microempresas interesadas en desarrollar *software* de calidad, pero al incursionar en este campo, muchas veces, no cuentan con una metodología apropiada para hacerlo de un modo ordenado.

Según un estudio realizado por CAMTIC, Costa Rica cuenta con unas 805 empresas de en Tecnologías Digitales (TD); y, entre el 2003 y el 2008, hubo un aumento del 101%, del que el Subsector del *Software* fue el que más creció en número de empresas, exportando mayoritariamente sus servicios (CAMTIC, 2006).

CAMTIC indica que los principales mercados de exportación son América Central y los Estados Unidos. También se colocan productos en México, Suramérica y, en menor medida, en Europa y Asia. Al 2008, el Sector de las TD en Costa Rica reportaba ventas de aproximadamente US\$3.500 millones anuales, un 10, 6% del PIB; US\$2.800 millones en exportaciones (28.8% del total); y, un total de 54.700 empleos (3,4% de la fuerza laboral) (CAMTIC, 2006).

Ese mismo estudio indica que el Sector de las Tecnologías Digitales no solamente representa una importante proporción de la producción y de las exportaciones del país, sino que ha sido clave para que Costa Rica se vaya insertando en la Sociedad de la Información y el Conocimiento (CAMTIC, 2006).

Aspectos Metodológicos

Objetivos

Objetivo general

Proponer una metodología iterativa de desarrollo de *software* para microempresas costarricenses.

Objetivos específicos

- Diagnosticar las características de las microempresas costarricenses de desarrollo de *software*.
- Determinar mejores prácticas en las metodologías de desarrollo de *software*.
- Analizar de manera comparativa las características de las microempresas costarricenses de desarrollo de *software* y las mejores prácticas de calidad.
- Diseñar una metodología iterativa de desarrollo de *software* para microempresas costarricenses.

Variables

Para la consecución de los objetivos se desarrollaron las siguientes variables, las cuales, a su vez, marcan el orden del proceso seguido en la presente investigación:

- Diagnóstico de las características de las microempresas en costarricenses de desarrollo de *software*.
- Estudio sobre modelos iterativos para el desarrollo de *software*.
- Estudio sobre métricas para el aseguramiento de la calidad en el desarrollo de *software*.
- Estudio sobre mejores prácticas para mejorar la calidad en el proceso de desarrollo de *software*.
- Análisis comparativo entre las características de las microempresas costarricenses de desarrollo de *software* y las mejores prácticas de calidad.
- Propuesta de una metodología iterativa de desarrollo de *software* para microempresas costarricense

Aclaración de conceptos

Generalidades sobre la calidad en el desarrollo de software

La calidad en un producto de *software* se analiza desde tres perspectivas (Piattini, 2007):

- Calidad interna: medible en las características intrínsecas del producto como el código fuente.
- Calidad externa: medible en el comportamiento del producto como en una prueba.
- Calidad en uso: medible en la utilización efectiva por parte de los usuarios del producto.

La Norma ISO/IEC 9126

La Norma ISO/IEC 9126 es un estándar internacional para la evaluación de la calidad del *software*. Esta norma identifica seis características de calidad y cada una de ellas las subdivide en sub-características. Vela por la calidad interna y externa. Los criterios que propone son (ISO/IEC 9126, 2001):

- Funcionalidad: capacidad del producto de *software* para ofrecer funciones que reúnan una serie de condiciones y necesidades implícitas cuando el *software* se utiliza en determinadas condiciones.
- Confiabilidad: capacidad del producto de *software* para mantener un determinado nivel de rendimiento cuando se utiliza en condiciones especificadas.

- Usabilidad: capacidad del producto de *software* de ser comprendido, aprendido, usado y atractivo para el usuario, cuando utilizados en condiciones específicas.
- Eficiencia: capacidad del producto de *software* para proporcionar el rendimiento apropiado, relativo a la cantidad de recursos utilizados, bajo condiciones expuestas.
- Mantenibilidad: capacidad del producto de *software* para ser modificado. Las modificaciones pueden incluir correcciones, mejora o adaptación del *software* a los cambios en el medio ambiente, y de las necesidades y las especificaciones funcionales.
- Portabilidad: capacidad del producto de *software* que se han de transferir de un medio a otro. El medio ambiente puede incluir la organización, de hardware o *software*.

La Norma ISO/IEC 25000

En calidad del producto recientemente ha aparecido una nueva versión de la norma ISO/IEC 9126: la norma ISO/IEC 25000. Esta presenta una guía para el uso de las nuevas series de estándares internacionales, llamados Requisitos y Evaluación de Calidad de Productos de Software (SQuaRE) (ISO/IEC 25000, 2005). Constituyen una serie de normas basadas en la ISO 9126 y en la ISO 14598 (Evaluación del *Software*), y su objetivo principal es guiar el desarrollo de los productos de *software* con la especificación y evaluación de requisitos de calidad. Establece criterios para la especificación de requisitos de calidad de productos *software*, sus métricas y su evaluación. Los criterios a considerar son (ISO/IEC 25000, 2005):

- Funcionabilidad
- Rendimiento
- Compatibilidad
- Usabilidad
- Madurez
- Seguridad
- Mantenibilidad
- Portabilidad

Pruebas de software

En cuanto a las pruebas lo primero que se debe realizar es identificar los tipos de pruebas y los métodos y criterios para realizar las actividades de pruebas; cada nivel de pruebas requerirá un instrumento de medición de los entregables.

El objetivo primario de estas pruebas es descubrir las limitaciones del sistema y medir sus capacidades. Entre los tipos de pruebas se tienen:

- Pruebas de aceptación
- Pruebas automatizadas
- Pruebas beta
- Pruebas de conversión
- Pruebas de la documentación
- Pruebas del *hardware*
- Pruebas de interface
- Pruebas de integración

- Pruebas paralelas
- Pruebas de seguridad
- Pruebas de volumen y de estrés
- Pruebas de rendimiento
- Pruebas de regresión
- Pruebas unitarias
- Pruebas de aceptación del usuario

Modelos iterativos para el desarrollo de software

Sobre los modelos iterativos se dice que en una visión genérica, el proceso se divide en 4 partes: Análisis, Diseño, Código y Prueba. Sin embargo, para la producción del *software*, se usa el principio de trabajo en cadena o “Pipeline”, utilizado en muchas otras formas de programación. Con esto se mantiene al cliente en constante contacto con los resultados obtenidos en cada incremento. Es el mismo cliente el que incluye o desecha elementos al final de cada incremento a fin de que el *software* se adapte mejor a sus necesidades reales. El proceso se repite hasta que se elabore el producto completo (Soto, 2010).

Ciclo de vida en el desarrollo de software

La ISO 12207 indica que un modelo de ciclo de vida es un marco de referencia que contiene los procesos, las actividades y las tareas involucradas en el desarrollo, la explotación y el mantenimiento de un producto de *software*, abarcando la vida del sistema desde la definición de los requisitos hasta la finalización del mismo. El ciclo de vida abarca toda la vida del sistema, desde su concepción hasta cuando no se utiliza. Además, a veces se habla de ciclo de desarrollo, el cual es un subconjunto del anterior pues éste empieza en el análisis y finaliza con la entrega del sistema al usuario (ISO/IEC 12207, 2008).

Estándares de calidad en software

Hay dos tipos de estándares para gestionar la calidad del *software* (Sommerville, 2006):

- Estándares del producto: Estos estándares se aplican sobre el producto de *software* que se está desarrollando.
- Estándares del proceso: Estos estándares definen el proceso que deben seguirse para desarrollar el *software*.

Métricas para el aseguramiento de la calidad

Una métrica de *software* es cualquier tipo de medida relacionada con un sistema, proceso o documento de *software*. Algunos ejemplos son las medidas que se utilizan para calcular el tamaño de un producto en líneas de código el índice de Fog que mide la claridad de un párrafo en un texto, el número de fallos encontrados en un producto de *software* entregado, y el número de personas/día requeridas para desarrollar un componente del sistema (Sommerville, 2006).

Principios del Manifiesto Ágil

No toda metodología iterativa es necesariamente una metodología ágil; por lo tanto, es importante aclarar los principios que se encuentran detrás del llamado Manifiesto Ágil (Highsmith, 2001):

- Primero: nuestra mayor prioridad es satisfacer al cliente mediante la implementación temprana y continua de *software* valioso.

- Segundo: bienvenidos los requerimientos cambiantes, incluso tarde en el desarrollo. Los procesos ágiles aprovechan el cambio para obtener una ventaja competitiva del cliente.
- Tercero: entregar frecuentemente *software* que funciona, de un par de semanas a un par de meses, con una preferencia por el plazo más corto.
- Cuarto: la gente del negocio y los desarrolladores deben trabajar juntos diariamente a lo largo del proyecto.
- Quinto: los proyectos deben ser generados con individuos motivados. Darles el medio ambiente y el apoyo que necesitan y confiar en ellos para realizar el trabajo.
- Sexto: el método más eficiente y eficaz de comunicación de la información dentro del equipo de desarrollo es la conversación cara a cara.
- Séptimo: el *software* que funciona es la medida principal del progreso.
- Octavo: los procesos ágiles promueven el desarrollo sostenible. Los patrocinadores, los desarrolladores y usuarios deberían ser capaces de mantener un paso constante indefinidamente.
- Noveno: atención continua a la excelencia técnica y al buen diseño, mejora la agilidad.
- Décimo: simplicidad - el arte de maximizar la cantidad de trabajo no hecho es esencial.
- Undécimo: las mejores arquitecturas, requisitos y diseños surgen de equipos auto-organizados.
- Duodécimo: a intervalos regulares el equipo reflexiona cómo ser más eficaces, luego afina y ajusta su comportamiento consecuentemente.

Microempresas en Costa Rica

¿Qué es una microempresa en Costa Rica? El Ministerio de Economía Industria y Comercio (MEIC) de Costa Rica se vale de la clasificación propuesta por la Caja Costarricense del Seguro Social para definir qué es una microempresa. En Costa Rica se clasifican las empresas según tamaño en los siguientes grupos (Ministerio de Economía Industria y Comercio, 2009):

- Microempresas: de 1 a 5 trabajadores.
- Pequeñas: de 6 a 30 trabajadores.
- Medianas: de 31 a 100 trabajadores.
- Grandes: más de 100 trabajadores.

En cuanto a la cantidad de microempresas se tiene (Ministerio de Economía Industria y Comercio, 2009):

- Sector agropecuario: 4650.
- Sector industria: 2355.
- Sector comercio: 9176.
- Sector servicios: 20 140.

Las empresas de desarrollo de *software* se ubican en el sector servicios. Sin embargo, es importante aclarar que no se dispone del desglose de este dato para saber cuántas de las 20140 corresponden a microempresas de desarrollo de *software*.

Empresas de desarrollo de software en Costa Rica

Respecto al desarrollo de *software* en Costa Rica, el estudio más completo y reciente que se encontró fue el desarrollado por CAMTIC, en el 2005, en colaboración con el Banco Central de Costa Rica y el Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (CAMTIC, 2006).

CAMTIC ha clasificado las empresas de tecnologías de información y comunicación (TIC) en cuatro sectores:

- Productores: empresas que se encargan del diseño y desarrollo de distintos productos de *software* estandarizado.
- Servicios directos: empresas que se encargan de la producción de *software* a la medida, servicios de instalación, integración y soporte de sistemas.
- Servicios habilitados por TIC: empresas que dependen de las TIC para su negocio.
- Componentes: empresas que se encargan de producir los componentes necesarios para desarrollar las tecnologías de información y comunicación.
- Es necesario resaltar que no existe un inventario de cuáles de estas empresas son microempresas, solo se cuenta con un estudio general que involucra micro-, pequeñas, medianas y grandes empresas de desarrollo de *software*.

Análisis de Resultados

Variable: diagnóstico de las características de las microempresas costarricenses de desarrollo de software

Los resultados se resumen a continuación.

Número de empleados

En Costa Rica, el Ministerio de Economía Industria y Comercio (MEIC), valiéndose de la clasificación propuesta por la Caja Costarricense del Seguro Social, define microempresa como la compuesta de entre 1 a 5 trabajadores (Ministerio de Economía Industria y Comercio, 2009).

En la Fig. 1 se resumen los resultados obtenidos en la encuesta con respecto a este criterio.

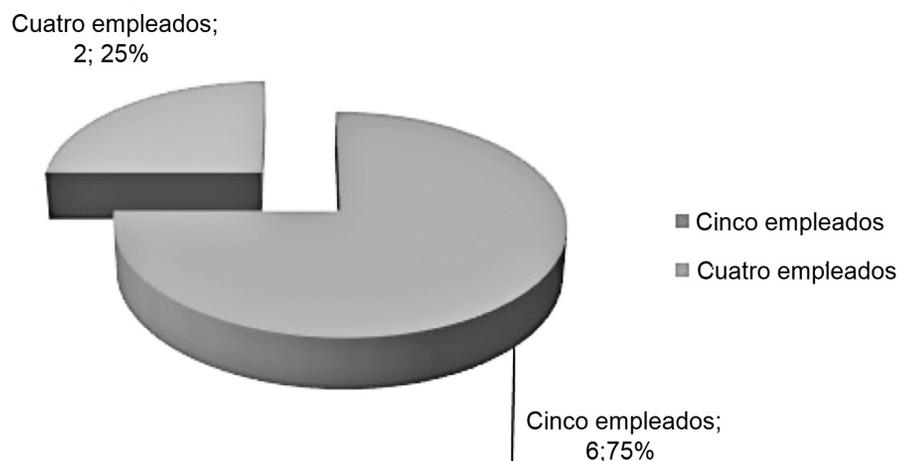


Figura 1. Cantidad de empleados en las empresas encuestadas

Como podemos constatar en la figura anterior, el 75% de las empresas encuestadas tienen 5 trabajadores y un 25% 4 trabajadores. Esto para un total de 8 empresas en la muestra.

Vale indicar que no aparecen microempresas con 1, 2 o 3 empleados, situación que no afecta significativamente el presente estudio pues el número de empleados que tienen las empresas encuestadas está dentro del criterio definido como microempresa.

Estructura organizativa

Otro criterio importante por considerar en la encuesta era cómo se estructuran organizacionalmente las microempresas de desarrollo de *software*.

Necesariamente, deben tener estructuras muy planas y con duplicación de funciones en varias personas, esto por tener no más de cinco empleados. Es decir, todos o casi todos los empleados deben hacer de todo. Máxime que, normalmente, los dueños de la microempresa son los principales trabajadores de su empresa.

Por el pequeño número de personal que conforma a las microempresas, la estructura organizativa tiende a ser muy sencilla:

- Una persona que dirige: llamado gerente, administrador o dueño.
- Encargado, administrador o líder de proyecto: una o dos personas.
- Programadores: dos o tres personas.

Vale resaltar que la misma persona puede fungir en varios roles. Por ejemplo, un encargado de proyecto puede ser, a la vez, programador; el que dirige la microempresa normalmente es, también, encargado de uno o más proyectos.

Fortalezas de este tipo de empresas

En esta sección se trata de definir qué fortalezas tienen este tipo de empresas. Esto será útil en la elaboración de la metodología pues ayuda a decidir que procedimientos y formularios se acomodan mejor al tipo de organización que son las microempresas de desarrollo de *software*.

Una microempresa de desarrollo de *software* tiene en resumen las siguientes fortalezas a explotar:

- Facilita el control organizacional.
- Organización flexible.
- Organización no compleja.
- Organización pequeña.
- Recurso humano comprometido

Debilidades de este tipo de empresas

Similarmente a lo indicado en la sección anterior, la determinación de las debilidades de este tipo de empresa será útil en la elaboración de la metodología pues ayuda a decidir qué procedimientos y formularios se acomodan mejor al tipo de organización que son las microempresas de desarrollo de *software*.

Una microempresa de desarrollo de *software* tiene en resumen las siguientes debilidades a cuidar:

- Limitada financieramente.
- Organización pequeña.

Metodología de desarrollo utilizada

Se puede concluir lo siguiente con respecto a la metodología:

- Se desea una metodología que tenga flexibilidad y que incorpore elementos de agilidad.
- Por lo general, entre Scrum o Cascada.
- Resumen del proceso de desarrollo
- Se consultó a los encuestados sobre el proceso seguido en el desarrollo de *software*, la siguiente tabla presenta las respuestas obtenidas.

Variable: Estudio sobre métricas para el aseguramiento de la calidad en el desarrollo de software

Se presenta seguidamente el resultado del estudio sobre métricas para el aseguramiento de la calidad en el desarrollo de *software*. Según lo planificado se tomó una muestra de la población total de métricas, es una muestra no probabilística y el criterio usado es afinidad con el tema de estudio (Sommerville, 2006)(ISO/IEC TR 9126-3, 2011).

- Longitud de código. Es una medida del tamaño del programa. Generalmente cuanto más grande sea el tamaño del código de un componente, es más complejo susceptible a errores.
- Longitud de los indicadores. Es una medida de la longitud promedio de los indicadores en un programa. Cuanto más grande sea la longitud de los identificadores, más probable será que tengan significado y el programa sería más comprensible. Da claridad a los programas.
- Profundidad del anidamiento de las condicionales. Esta es una medida de la profundidad de anidamiento de las instrucciones condicionales (p.ej. if) en un programa. Muchas condiciones anidadas son difíciles de comprender y son potencialmente susceptible de errores.
- Completitud de la documentación del usuario y/o facilidad de ayuda. Indica qué proporción de las funciones son descritas en la documentación del usuario o en la ayuda del sistema. Logra una buena documentación de los programas.
- Promedio de desviación en estimados de tiempo de desarrollo. Se calcula como la diferencia entre el tiempo estimado para un módulo y el tiempo real requerido. Luego se obtiene el promedio para el proyecto. Permite acumular experiencia que luego puede servir para estimar mejor otros módulos y proyectos.

Particularmente, se seleccionaron métricas que no requieren una gran inversión en tiempo y recursos para su cálculo, esto por cuanto, normalmente, el presupuesto de las microempresas es bajo.

Variable: Estudio de las mejores prácticas para evaluar la calidad del producto de software

Se presenta seguidamente el resultado del estudio sobre mejores prácticas en cuanto a calidad propuestas por el PMI en el PMBOK y la ISO/IEC 25000. Según lo planificado, se tomó una muestra de la población total de mejores prácticas, es una muestra no probabilística y el criterio usado es afinidad con el tema de estudio.

- Análisis Costo-Beneficio: evaluar si el costo de implementar la actividad de calidad es inferior al beneficio esperado.
- Costo de calidad: el costo de la calidad incluye tanto los costos para evitar fallos como los costos ocasionados por los fallos.

- Cartas de control: sirve para determinar si un proceso está estable. Se establece un límite superior y uno inferior de la especificación para tener un rango permitido.
- Benchmarking: se trata de comparar las prácticas actuales del proyecto con las de otros proyectos comparables para determinar las mejores prácticas.
- Diseño de experimentos: Es un método estadístico para determinar qué factores pueden influir en variables específicas de un producto o proceso, ya sea en desarrollo o en producción.
- Muestreo estadístico: involucra escoger parte de una población de interés para inspeccionarla.
- Diagramas de flujo: es una representación gráfica de un proceso mostrando las relaciones entre los diferentes pasos del proceso.
- Metodologías de administración de la calidad propietarias: tales como Six Sigma, CMMI.
- Auditorías de calidad: es una revisión independiente y estructurada para determinar si las actividades del proyecto cumplen con las políticas, procesos y procedimientos, tanto de la organización como del proyecto.
- Diagrama causa-efecto: ilustra cómo varios factores producen ciertos efectos.
- Histograma: es un gráfico de barras vertical que muestra qué tan frecuente se da cierto hecho (por ejemplo, el valor de una variable). Cada columna representa un atributo o característica de un problema o situación en estudio. La altura de la columna representa la frecuencia relativa de esa característica.
- Diagrama de Pareto: es un tipo de histograma ordenado por frecuencia de ocurrencia.
- Carta de corrida: similar a las cartas de control sin mostrar límites. La carta de corrida muestra la historia y patrón de una variación.
- Diagrama de dispersión: sirve para mostrar la relación entre dos variables. Se tiene una variable independiente y una dependiente.
- Inspección: una inspección es el examen de un producto de trabajo para determinar si este está conforme a los estándares documentados.

Variable: Propuesta de una metodología iterativa de desarrollo de software de calidad para microempresas costarricenses

Para el desarrollo de esta sección se realizó el siguiente proceso:

- Analizar los modelos propuestos buscando el más apropiado para el caso en cuestión.
- Seleccionar un subconjunto de métricas de calidad para ser utilizadas en la metodología propuesta.
- Seleccionar un subconjunto de las mejores prácticas en cuanto a calidad.
- Determinar las principales características de las microempresas a tomar en cuenta para la preparación de la metodología.
- Preparar la metodología

Con respecto a los modelos de desarrollo de software

- RAD – Descartada. Se descarta pues para utilizarla se debe contar con las herramientas CASE, que no tiene la microempresa y está fuera de su capacidad de compra.

- FDD – Descartada. Se descarta pues es recomendada para proyectos grandes lo cual no es común que desarrollen las microempresas.
- XP – Descartada. Se descarta pues en este modelo el cliente debe estar dispuesto a dedicar mucho tiempo al proyecto, lo cual no es común en los proyectos de las microempresas. Además, es empleada en proyectos innovadores.
- Scrum – Descartada. Se descarta pues en este modelo se depende mucho de un buen Scrum Master. Para una microempresa capacitar o contratar un Scrum Master con experiencia es muy caro.
- Prototipado – Aceptada pero con modificaciones. Es el más adecuado para una microempresa por cuanto: Es recomendable cuando el cliente no está muy seguro de lo que quiere. Cuando el cliente desea ir haciendo pruebas del sistema y conocer la interfaz. Modificación, se procede a codificar para ir generando versiones funcionales del programa. Esto es tomado de las metodologías ágiles.

Con respecto a las métricas de calidad

- Longitud de código– Aceptada. Adecuada en proyectos en que el programador es quien directamente escribe el código. Aceptada pues aplica para el caso.
- Longitud de los indicadores – Descartada. Adecuada en proyectos o muy pequeños o en los que se cuente con una herramienta automática que lleve las estadísticas de los indicadores. Rechazada pues no se cuenta con dicha herramienta automática.
- Profundidad del anidamiento de las condicionales – Descartada. En proyectos muy pequeños, o en los que se cuente con una herramienta automática que lleve las estadísticas de los indicadores. Rechazada pues no se cuenta con dicha herramienta automática.
- Completitud de la documentación del usuario y/o facilidad de ayuda - Aceptada. En general para todo tipo de proyectos. Aceptada pues aplica para el caso.
- Promedio de desviación en estimados de tiempo de desarrollo - Aceptada. En general, para todo tipo de proyectos. Aceptada pues aplica para el caso.

Con respecto a las mejores prácticas de calidad

Con el fin de no saturar la metodología se seleccionaron dos prácticas de las más recomendadas por su generalidad:

- Auditorías de calidad. Permite velar por la verificación del proceso de desarrollo del producto. Ejerciendo el aseguramiento de la calidad.
- Inspección. Permite velar por la validación del producto. Ejerciendo control de la calidad.

Las otras métricas si bien son útiles, el mismo costo-beneficio indica que no es aconsejable cargar la metodología de una microempresa de muchas actividades; por tanto, no se incluyen de momento y según necesidad se podrían incorporar más adelante:

Con respecto a las características de las microempresas en Costa Rica

Se presentan las características más relevantes de las microempresas costarricenses de desarrollo de *software* que fueron consideradas:

- Empresas pequeñas de menos de 5 empleados.
- Estructura organizativa muy horizontal y sencilla.
- Quien administra el proyecto normalmente es desarrollador y, por tanto, debe ser una

metodología sencilla de aplicar, que no le quite mucho tiempo en labores administrativas y de registro de información.

- La microempresa no tiene mucho presupuesto y, por ende, la metodología no debe implicar herramientas costosas.
- Es una metodología dirigida a proyectos pequeños o mediados pues la empresa no tiene más capacidad que esto (presupuesto menor a \$100 000,00 y plazo no mayor a 6 meses).
- Normalmente no se cuenta con una cartera amplia de clientes, por eso la metodología debe velar porque el cliente sienta que su proyecto va dando los resultados esperados y así no quiera abandonar el servicio de la microempresa.

Propuesta Metodológica

La metodología propuesta se acompaña de Formularios y de un Diagrama del Proceso general, los cuales puede consultar en la siguiente dirección (<http://goo.gl/sJZfT5>).

Seguidamente, se presenta la metodología propuesta.

Toda reunión sostenida durante el proyecto será documentada a través de una Minuta de Reunión (Formularios F16). La minuta será confeccionada durante la reunión, y al finalizar deberá ser firmada por los asistentes como signo de aceptación. En ella además de registrar los asistentes, se llevará control de los puntos tratados y de los acuerdos alcanzados (en este caso indicando claramente quienes son los encargados de ejecutar dichos acuerdos).

Definiciones previas:

- Gerente del proyecto: es el responsable por parte de la empresa del proyecto y, a la vez, administra el mismo.
- Patrocinador: es la persona que contrata el proyecto.
- Cliente: Se refiere a la persona que el patrocinador designe como encargado de estar en el día a día del proyecto. Nada impide que, en algunos casos, patrocinador y cliente sean el mismo.
- Otros miembros del equipo: son los funcionarios de la empresa desarrolladora que participan en el proyecto, no incluye al gerente del proyecto.
- Equipo del proyecto: Se refiere al gerente del proyecto más los otros miembros del equipo del proyecto.

Proceso

Se presenta seguidamente el proceso a seguir. Vale aclarar que también se desarrollaron los formularios relacionados:

Realizar el Acta Constitutiva (Formularios F01)

- Se refiere al contrato inicial que marca los grandes acuerdos entre las partes.
- El número de proyecto es lo que le da unicidad a cada documento; por tanto, no deben existir dos Actas Constitutivas con un mismo número de proyecto.
- Debe ser firmado, al menos, por el gerente del proyecto y el patrocinador.
- Todo cambio que afecte los acuerdos tomados en el Acta Constitutiva debe ser aprobado con un documento de control de cambios debidamente firmado por los involucrados (Formularios F14), particularmente el gerente del proyecto y el patrocinador.

Planificación de las iteraciones (Formularios F02)

- Previo al inicio de las iteraciones, el equipo del proyecto y el cliente establecen las características generales del proceso iterativo como lo son el número de iteraciones, la duración de cada iteración, los roles y responsabilidades en el proceso y una planificación inicial del contenido de cada iteración. Este acuerdo inicial es solo para tener un plan general pues, por el tipo de metodología, será al inicio de cada iteración que cliente y equipo del proyecto determinen qué requerimientos se atenderán.
- El número de iteraciones dependerá, sobre todo, del número y complejidad de los requerimientos.
- La duración de cada iteración se recomienda que esté entre 10 a 20 días hábiles de trabajo por parte del equipo del proyecto. La decisión dependerá del esfuerzo que conlleven los requerimientos y de la disponibilidad del cliente para estar reuniéndose.

Preparar Plan de Inspección (Formularios F13) y Plan de Auditoría (Formularios F15),

- Como parte de la gestión de la calidad del proyecto se prepara un plan de inspección que ayudará en la validación del producto —control de calidad— y un plan de auditoría que ayudará en la verificación del proceso de construcción del producto —aseguramiento de la calidad—.

Mientras haya requerimientos a considerar:

- Toma detallada de requerimientos (Formularios F03)
 - Cada iteración tendrá un número único 01, 02, 03 y, así, sucesivamente.
 - A la vez se llevará una codificación de la versión de este documento: A, B, C,... Esta codificación servirá cuando el prototipo, en esa iteración, no sea aprobado y, por tanto, se volverán a tomar los requerimientos, en cuyo caso se tendría el mismo número de iteración, pero una nueva versión del documento (en la segunda vez "B"). La última versión de la iteración contendrá todos los requerimientos que se están desarrollando.
 - Se crean o modifican los Casos de Uso necesarios (Formulario F04). La primera vez que se prepara un caso de uso se le asigna el siguiente número disponible CU-01, CU-02, etc. Si se está creando ese caso de uso, se le asigna versión v1; si se está modificando por primera v2, y así sucesivamente.
- Construcción del prototipo (Formularios F05)
 - Los prototipos serán numerados en forma consecutiva 01, 02, 03,... por proyecto. Este será el identificador de cada uno de ellos.
 - Todo prototipo responde a unos requerimientos específicos a satisfacer.
- Presentación del Prototipo (Formularios F06)
 - La presentación del prototipo al cliente se hace el día, hora y lugar acordados previamente.
 - El prototipo es presentado y explicado ampliamente por el gerente del proyecto al cliente con el fin de conocer si cumple con las expectativas requeridas.
 - El prototipo se considera aprobado si un 75% o más de los requerimientos deseados son cubiertos satisfactoriamente a consideración del cliente; de lo contrario, se considera rechazado.
 - En caso de ser aprobado pero tenerse observaciones menores, estas deben ser registradas en el documento.

- En caso de ser rechazado, se toma nota de los requerimientos que se consideran aprobados y la razón por la que se rechazaron los requerimientos no aceptados.
- Si es aprobado el prototipo
 - Actualización de requerimientos (Formularios F07)
 - Este documento lo que contiene son los requerimientos aprobados, y que serán diseñados y codificados en la iteración.
 - En caso de existir pequeñas observaciones obtenidas con el prototipo se consignarán estos cambios menores.
 - En este documento queda la versión definitiva de los requerimientos a implementar en la iteración.
 - Además se adjuntan los casos de uso definitivos.
 - Diseño (Formularios F08)
 - Se genera el documento de diseño para los requerimientos de la iteración en ejecución.
 - El listado de requerimientos está actualizado en el documento “Actualización de requerimientos” de la actual iteración y tiene los casos de uso asociados adjuntos.
 - Codificación (Formularios F09)
 - Este formulario y sus adjuntos dejan registrado el código generado y el cumplimiento de los estándares de calidad definidos.
 - Pruebas (Formularios F10)
 - Para cada caso de uso de la iteración se genera un caso de prueba que sirva para comprobar la correctitud de la aplicación generada.
 - Los casos de prueba tienen la numeración P01, P02, P03, etc., y este identificador es único por proyecto.
 - Presentación de versión funcional (Formularios F11)
 - La presentación al cliente se hace el día, hora y lugar acordados previamente.
 - La aplicación es presentada y explicada ampliamente por el gerente del proyecto al cliente con el fin de conocer si cumple con las expectativas requeridas.
 - Además, en este momento se hace una revisión del monto en colones invertidos a la fecha en el proyecto con el fin de que el cliente determine si desea y puede iterar más con otros requerimientos.
 - Si la aplicación es aprobada
 - Ir a 3 “Mientras haya requerimientos a considerar”
 - Si no es aprobada
 - Ir a 3.4.3 “Codificación”
- Si no es aprobado
 - Ir a 3.1 “Toma detallada de Requerimientos”

Cierre del proyecto (Formularios F12)

- A partir de la fecha del último requerimiento analizado (Paso 4) se da un plazo de un mes calendario como garantía, y si no hay reclamos, se procede al acta de cierre del proyecto.
- Este documento da por cerrado el proyecto, sin reclamos posteriores.
- Es firmado, al menos, por el gerente del proyecto y el patrocinador.

Conclusiones

La investigación demostró que existen muchos modelos iterativos, sobre todo con el surgimiento de las metodologías ágiles, lo que falta es más literatura sobre la aplicación de estas metodologías en microempresas, normalmente está muy bien documentado de empresas medianas y grandes.

Se logró listar el número de métricas deseadas. Existen muchos tipos de métricas y su selección es compleja pues no hay muchos criterios de cuándo y por qué escoger una u otra. Además, hay que tener cuidado de que la selección de varias métricas no vaya contra el mismo costo-beneficio.

Se realizó un estudio concienzudo del PMBOK del PMI y de la ISO/IEC 25000, y luego se inventariaron las mejores prácticas. Se debe tener cuidado en las microempresas que la selección de técnicas y herramientas para la administración de proyectos no debe crear un costo administrativo tan alto que la microempresa no lo pueda absorber.

Para el cumplimiento pleno de este objetivo se encontró un problema, por el tamaño de este tipo de empresas en Costa Rica (5 o menos trabajadores) normalmente no están bien organizadas y muy pocas están agremiadas. Son sobre todo las pequeñas, medianas y grandes empresas, las que se agremian en organizaciones como CAMTIC o se inscriben formalmente. Por lo anterior, conseguir la muestra para la encuesta fue complicado y difícil: se logró, sobre todo, usando redes de amigos y conocidos.

La metodología propuesta contiene los procedimientos e instrumentos necesarios para utilizarla. La presente investigación demuestra que para microempresas de desarrollo de *software* el uso de este tipo de metodologías es una gran oportunidad de negocio, dado que disminuyen los gastos administrativos que tanto afectan a las microempresas por un tema de economías de escala.

Trabajo futuro

Sería muy provechoso realizar una investigación que se centre solo en la comparación de una mayor cantidad de modelos iterativos, lo cual podría determinar más opciones a considerar.

La aplicación de la metodología propuesta generará estadísticas de su uso y, por tanto, luego de varias iteraciones se podría ver la conveniencia de continuar con las métricas definidas en la presente metodología o cambiarlas por otras.

Si bien para esta metodología se eligió el plan de inspección y el plan de auditoría, sería conveniente que luego de varias aplicaciones de la metodología se valorara la inclusión de alguna práctica más que venga a aportar y a no sobrecargar el proceso. Por ejemplo, la aplicación de alguna técnica de Costo/Beneficio a la hora de introducir nuevas características al *software*.

Reconocimientos

Se agradece a todos los microempresarios que de forma anónima colaboraron completando la encuesta que sirvió como insumo para la presente investigación.

Bibliografía

CAMTIC. (28 de Febrero de 2006). *Estado Nacional del Sector del Software*. Recuperado el 20 de Agosto de 2011, de <http://www.camtic.org/ES/camtic/estudios/>.

Highsmith, J. (2001). *Manifiesto for Agile Software Development*. Recuperado el 04 abril de 2012, de <http://www.agilemanifesto.org/>.

ISO/IEC 12207. (2008). *Systems and software engineering Software life cycle processes*. EEUU.

ISO/IEC 25000. (2005). *Requisitos y Evaluación de Calidad de Productos de Software (SQuaRE)*. Recuperado el 28 de marzo de 2011, de http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec25000%7Bed1.0%7Den.pdf

ISO/IEC 9126. (2001). *Software engineering - Product quality*. Suiza.

ISO/IEC TR 9126-3. (Marzo de 2011). *Software engineering – product quality, part 3 Internal Metrics*. Canadá.

Ministerio de Economía Industria y Comercio. (Marzo de 2009). *Digepyme - Empresas según tamaño*. San José, San José, Costa Rica.

Piattini, M. y. (2007). *Calidad de Sistemas Informáticos*. En M. y. Piattini, *Calidad de Sistemas Informáticos* (pág. 206). México: AlfaOmega.

Sommerville, I. (2006). *Ingeniería del Software*. España: Pearson.

Soto, L. (2010). *Modelo Incremental*. Recuperado el 27 de agosto de 2011, de <http://www.mitecnologico.com/Main/ModeloIncremental>

Metodología para el análisis y retiro de activos: transformadores de potencia

Methodology for the analysis and retirement of assets: Power transformers

Gustavo Adolfo Gómez-Ramírez¹

Fecha de recepción: 22 de octubre del 2014

Fecha de aprobación: 19 de marzo del 2015

Gómez-Ramírez, G. Metodología para el análisis y retiro de activos: transformadores de potencia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 116-126.

¹ Ingeniero de Laboratorio de Alta tensión ICE-LIMAT. Profesor, Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Profesor, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Teléfono: (506) 2533 3060. Correo electrónico: ggomezra@ice.go.cr

Palabras clave

Índices de condición; retiro de activos; transformadores de potencia.

Resumen

El siguiente artículo consiste en el desarrollo de una metodología en el ámbito de la ingeniería de alta tensión para el análisis y retiro de transformadores de potencia reparados, fundamentado en criterios ingenieriles, a fin de establecer una correlación entre el estado de la condición del transformador desde varios puntos de vista: *eléctrico, mecánico, dieléctrico y térmico*. Realizando un análisis del estado de la cuestión, se tienen dos situaciones de gran trascendencia, primeramente las normas internacionales son una “guía” para la aceptación de transformadores nuevos por lo que no pueden aplicarse al pie de la letra para transformadores reparados, debido al proceso mismo de degradación que el transformador ha sufrido con el paso de los años y todos los factores que conllevaran a una posible reparación. Segundo, con base en la literatura técnica más reciente, se han analizado artículos, los cuales analizan el aceite dieléctrico y el papel, lo cual se establecen correlaciones entre la calidad del papel aislante y la concentración de furanos en aceites. Para finalizar, gran parte de la investigación hasta ahora realizada, se ha enfocado en el análisis del transformador, a partir de la condición del aceite dieléctrico pues, en la mayoría de los casos, no se tiene la posibilidad de realizar una ingeniería forense dentro del transformador en operación y poder así, analizar las componentes de diseño que pueden comprometer la integridad y operatividad de este.

Keywords

Indexes of condition; retirement of assets; power transformers.

Abstract

The following article consists of the development of a methodology of the area of the engineering of high voltage for the analysis and retirement of repaired power transformers, based on engineering criteria, in order to establish a correlation between the conditions of the transformer from several points of view: *electrical, mechanical, dielectrics and thermal*. Realizing an analysis of the condition of the question, there are two situations of great transcendency, first one, the international procedure are a “guide” for the acceptance of new transformers, by what they cannot be applied to the letter for repaired transformers, due to the process itself of degradation that the transformer has suffered with to happen of the years and all the factors that they were carrying to a possible repair. Second one, with base in the most recent technical literature, there have been analyzed articles, which analyze the oil dielectrics and the paper, which correlations are established between the quality of the insulating paper and the furan concentrations in the oils. To finish, great part of the investigation till now realized, it has focused in the analysis of the transformer, from the condition of the dielectric oil, so in most cases, there is not had the possibility of realizing a forensic engineering inside the transformer in operation and of being able this way, of analyzing the components of design who can compromise the integrity and operability of the same one.

Introducción

El análisis íntegro de un transformador, va más allá de solamente las pruebas eléctricas, las pruebas al aceite dieléctrico y cualquier otro análisis que se puedan hacer en el tiempo. Aun así, las normas no establecen una metodología clara de análisis y retiro de transformadores de potencia, basado en la condición de estos. Las tendencias mundiales han orientado el análisis de transformadores hacia el análisis de aceite, de esta manera se puede establecer de forma indirecta, el estado del transformador y del papel aislante. La presente metodología, plantea analizar un transformador desde el punto de vista de la condición, a fin de complementar las pruebas al aceite dieléctrico. De este modo, se establece un estudio y análisis de las pruebas dieléctricas a fin de plantear una metodología científica de análisis, generación de índices, evaluación y correlacionar estos valores a fin de tomar una decisión de gran importancia: *Retiro de un activo de potencia*

Desarrollo de Índices de condición del transformador

Índice de Condición del Estado Eléctrico

Este índice clasifica y considera la estadística de los transformadores instaladas en un sistema de potencia, en función de los años de servicio, potencia instalada, marca del equipo, tipo de transformador (autotransformador, elevador, reductor, reactor), nivel de tensión, entre otros. En este índice se correlacionarán los valores anteriores con la tasa de fallas. A partir de eventos mutuamente excluyentes, se hará la siguiente consideración:

$$P_x = \sum P(\text{marca/década}) * P(c)$$

$P(\text{marca/década})$: valor estadístico donde se clasifican las marcas según la década de instalación. Es decir, si un transformador se instaló en 1984, se clasificará para la década de los ochentas, seleccionado según la marca del equipo.

$P(c)$: probabilidad de una marca en específico en una década en específico, de esta manera se debe hacer un conteo del lote de transformadores y clasificar según la década de instalación.

P_x : probabilidad de todo el muestreo a que un transformador sea de una marca específica y que se haya instalado en cierta época.

$$I.C.E.E. = P_x * I(\text{falla}) * I(\text{clasificación})$$

$I(\text{clasificación})$: se discrimina el transformador según sea su uso: autotransformador, reductor, elevador.

$I(\text{falla})$: tasa de fallas de transformadores, clasificados según marca y uso

$I.C.E.E.$: Índice de Condición del Estado Eléctrico.

Índice de *Condición del Estado Mecánico*: el índice mecánico dará una relación del nivel de cortocircuito que un transformador pueda soportar. Indudablemente, la corriente de cortocircuito puede llegar a ser letal para la máquina. Durante su vida útil, el transformador debe estar preparado para soportar sobre corrientes originadas por fallas en el sistema de potencia.

Estas sobre corrientes generan fuerzas electrodinámicas que son proporcionales al cuadrado de la corriente de cortocircuito. De esta manera para determinar la corriente de cortocircuito crítica, es necesario que, en la etapa de diseño, se realicen simulaciones de las posibles fallas a que estaría expuesto el transformador, teniendo en cuenta las características constructivas y eléctricas de las bobinas; de este modo, se podrán obtener las fuerzas axiales y radiales que se generan en un cortocircuito.

Fuerzas axiales: los componentes de fuerza axial pueden producir empuje de los conductores hacia los yugos de sujeción del núcleo, compresión axial hacia el centro de la bobina o una combinación de estos efectos. No hay una metodología para determinar el sentido dominante de las fuerzas. Sin embargo, se puede afirmar que estas componentes son mínimas si las alturas de las bobinas de AT y BT son iguales.

Fuerzas radiales: las componentes de fuerza radial en los devanados producen repulsión entre las bobinas de BT y AT. Así, la bobina interior tiende a comprimirse hacia el núcleo y la bobina exterior tiende a dilatarse radialmente hacia afuera. Estas fuerzas están limitadas, fundamentalmente, por la resistencia a la tensión del conductor de la bobina. La fuerza radial se determina a partir de la ecuación:

$$F_{radialv} \approx \frac{I^2 \times N}{H_w} \times D_m$$

Donde:

$F_{radialv}$: Fuerza radial (Newton)

I : Corriente del devanado (Amperios)

N : Número de espiras

D_m : Diámetro promedio del devanado (metros)

H_w : Longitud del devanado (metros)

A fin de estimar un índice de condición del estado mecánico de un transformador se puede utilizar la ecuación anterior, pues esta relaciona dos aspectos importantes en el diseño mecánico: el diámetro y la longitud del devanado pues ambos definen la impedancia de un transformador. La corriente dependerá de las características del transformador y el número de vueltas es un valor constante, no obstante no deja de ser importante. Por esta razón:

$$I.C.E.M. = \frac{H_w}{D_m}$$

La impedancia de cortocircuito de un transformador es proporcional a la geometría misma de la bobina; por lo tanto, los efectos de la fuerzas de cortocircuito van a ser más notorias, cuando la proporción *diámetro – altura* varíen significativamente. Aquí se va a concentrar la conceptualización del índice pues este será de naturaleza mecánica de dimensión y será particular para cada transformador ya que cada marca tendrá un diseño de transformador en particular.

Por esta razón, mientras más alto sea el valor de *I.C.E.M.*, se esperaría tener un transformador en mejores condiciones para poder enfrentar un cortocircuito; de esta manera, se generarán menores esfuerzos internos del transformador. Igualmente, no hay que dejar de lado el dimensionamiento que se le dio al transformador y, sobre todo, el refuerzo al mismo a fin de que el esfuerzo producido por un cortocircuito pueda ser distribuido dentro de la bobina antes de que esta falle y sea completamente deformada.

Índice de *Condición del Estado Dieléctrico*: el diseño dieléctrico 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. Las estructuras aislantes empleadas en transformadores se caracterizan por ser de geometrías diversas y

algunas veces irregulares. Por este motivo, la predicción del comportamiento dieléctrico de los aislamientos resulta muy complicada.

La intensidad de campo eléctrico en un dieléctrico no puede aumentarse indefinidamente. Si se excede de un cierto valor, ocurre un arco eléctrico y se “rompe el aislamiento”. La máxima intensidad de campo que un dieléctrico pueda sostener antes de la ruptura se conoce como rigidez dieléctrica. La rigidez dieléctrica depende de varios factores:

- Espesor del material
- Homogeneidad del material
- Nivel de tensión y tiempo
- Forma de los electrodos
- Presión en gases

Una manera práctica y confiable de poder medir la calidad del aislamiento de un transformador, es a partir de dos pruebas: resistencia al aislamiento y factor de potencia de los devanados. La resistencia del aislamiento es el cociente de la tensión DC aplicado a través de la superficie dividida por la corriente resultante total a un tiempo dado. La resistencia del aislamiento es función del tipo y las condiciones del material aislante usado, en general, esta varía proporcionalmente con el espesor e inversamente con el área de superficie del conductor. 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 ($\tan \delta$) y el factor de potencia.

El índice debe correlacionar ambas pruebas dieléctricas; se deben tomar en cuenta la información proporcionada por dos y sobretodo, tomar en cuenta el historial. Un índice dieléctrico de este tipo, deberá ser capaz de ser sensible ante cualquier variación del estado dieléctrico del transformador. De este modo, y por las características propias de las pruebas, la prueba de factor de potencia será un indicador de la cantidad de humedad dentro de los devanados y la prueba de resistencia al aislamiento de la condición del aceite. Por lo tanto, se establecerán las siguientes ecuaciones para analizar el cambio en la condición del aislamiento:

$$\Delta fp = fp_1 - fp_2$$

Donde

fp_1 : último dato medido de factor de potencia

fp_2 : valor transanterior de factor de potencia medido con un intervalo de dos años entre pruebas

Igualmente, para la prueba de resistencia al aislamiento tenemos:

$$\Delta R_{aisl} = R_{aisl1} - R_{aisl2}$$

Donde

R_{aisl1} : último dato medido de resistencia de aislamiento ($G\Omega$)

R_{aisl2} : valor transanterior de resistencia de aislamiento medido con un intervalo de dos años entre pruebas ($G\Omega$)

De esta manera, se tiene la tasa de cambio en el aislamiento del transformador, el cual será de al menos cada año, según los criterios de recurrencia de pruebas. Por esta razón se

considerará la siguiente ecuación para establecer un valor adimensional en la tasa de cambio del comportamiento dieléctrico del transformador:

$$T.C._{aislamiento} = \frac{\frac{\Delta_{fp}}{\sigma_{fp}}}{\sigma_{Raisl} R_{aisl}}$$

Donde

$T.C._{aislamiento}$: tasa de cambio del aislamiento y es un valor adimensional

σ_{fp} : desviación estándar del factor de potencia para el grupo de transformadores (reductores, elevadores, autotransformadores y móviles)

σ_{Raisl} : desviación estándar de la resistencia al aislamiento para el grupo de transformadores (reductores, elevadores, autotransformadores y móviles) ($G\Omega$).

A fin de establecer el índice dieléctrico del transformador, se requiere correlacionar las tasas de cambio del aislamiento para cada uno de los devanados e integrarlo en un único valor. Este se hará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I.C.E.D. = \alpha * T.C._{aislamiento_{AT}} + \beta * T.C._{aislamiento_{MT}} + \gamma * T.C._{aislamiento_{BT}}$$

donde

$I.C.E.D.$: Índice de condición del estado dieléctrico

$T.C._{aislamiento_{AT}}$: tasa de cambio del aislamiento en lado de alta tensión

$T.C._{aislamiento_{MT}}$: tasa de cambio del aislamiento en lado de media tensión

$T.C._{aislamiento_{BT}}$: tasa de cambio del aislamiento en lado de baja tensión

α, β, γ : constante de peso para devanados de alta, media y baja tensión respectivamente.

Estos valores se generan a partir de la experiencia y dichos valores son definidos según el siguiente cuadro:

Cuadro 1: Valor de las constantes de peso

Tipo de transformador	Valor α	Valor β	Valor γ
	Alta tensión	Media tensión	Baja tensión
Reductor	0.5	0.25	0.25
Elevador	0.55	n/a	0.45
Autotransformador	0.55	n/a	0.45
Móvil	0.5	0.25	0.25

Los valores de las constantes de peso se deben básicamente a la observación del comportamiento del aislamiento; la geometría de la bobina, a través de los años. Se tomaron para su clasificación aspectos como: *Nivel de tensión, cantidad de humedad, tipo de bobina.*

Índice de condición de estado térmico: el diseño térmico de los transformadores es un problema complejo; por esa razón, muchos de los métodos que se aplicaron antiguamente fueron empíricos. No obstante, en la actualidad se utilizan métodos matemáticos de análisis, precisos, basados en modelos que describen el comportamiento térmico de la máquina. Lamentablemente, dichas metodologías las han desarrollado las grandes fábricas de transformadores y estas constituyen una información que es estrictamente confidencial.

Cuando el transformador opera en condiciones normales de carga, las pérdidas en el núcleo y en las bobinas constituyen las fuentes de calor dentro del transformador. Este calor se transmite desde las fuentes hasta el aire que rodea al tanque del transformador, y se lleva a cabo como una combinación de los procesos: *conducción*, *convección* y *radiación*.

La siguiente figura muestra el mecanismo de disipación de calor: el núcleo y los devanados constituyen las fuentes de calor; el calor desprendido se transmite a través de la superficie exterior de estos al aceite refrigerante.

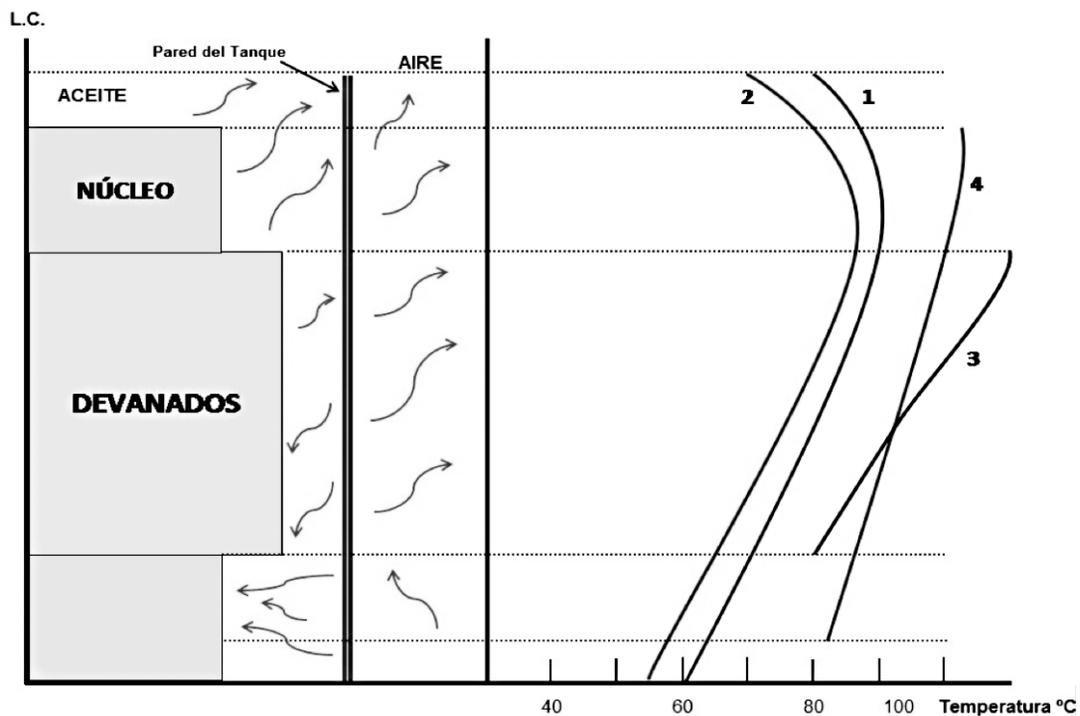


Figura 1: Disipación de calor y variación de temperatura dentro de un transformador.

Temperatura del aceite, 2. Temperatura de la pared, 3. Temperatura del devanado, y 4. Temperatura del núcleo

El comportamiento térmico de un transformador, es vital para garantizar su vida útil. Se establece un índice donde se correlaciona, el efecto de la temperatura, el porcentaje de sobrecarga y la cantidad de aceite que contenga el tanque conservado. Por esta razón, se debe calcular el comportamiento térmico del grupo de transformadores de la siguiente manera:

$$C.T. = \frac{\theta_a}{\sigma_{grupo}}$$

Donde

C.T.: comportamiento térmico de un transformador en particular.

θ_a : elevación de temperatura promedio del devanado con respecto al ambiente (°C).

σ_{grupo} : desviación estándar del grupo (reductor, elevador y autotransformador) (°C).

Una vez establecido el comportamiento térmico, se deberá calcular el peso del aceite (masa) en proporción al peso total del transformador. Se esperaría que, a mayor cantidad de aceite, mayor evacuación de calor ya que la parte activa de la máquina se comportará como una fuente calórica, según se muestra a continuación:

$$R.P. = \frac{P_{aceite}}{P_{total}}$$

Donde

R.P.: razón de pesos entre el aceite y el peso total de un transformador

P_{aceite} : peso del aceite (kg).

P_{total} : peso total del transformador (kg).

Una vez establecidos ambos valores, el índice final correlacionará el comportamiento térmico y la razón de pesos con el porcentaje de sobrecarga, según cada grupo de transformadores. De esta manera, se obtendrá de la siguiente forma:

$$I.C.E.T. = C.T. * R.P. * \% \text{ sobrecarga}$$

Donde

I.C.E.T.: índice de condición del estado térmico

C.T.: comportamiento térmico de un transformador en particular.

R.P.: razón de pesos entre el aceite y el peso total de un transformador.

Índice de Condición del Transformador (I.C.O.): el índice de condición en un transformador eléctrico va muy asociado con el envejecimiento de la máquina, la acumulación de esfuerzos debido a los cortocircuitos que pueda soportar el transformador, así como los cambios constantes en la temperatura de operación resumidos en los índices anteriormente mencionados. Cada uno de ellos va a tener un peso en la condición final del transformador.

Esto se refiere al desgaste que el transformador va a tener a través de los años de servicio. Este es un proceso degenerativo y continuo. A estos componentes de desgaste se pueden añadir el peso que tendría el mantenimiento, las reparaciones, los tipos de fallas que pueda sufrir el transformador por mencionar algunos. Para calcular un índice de condición, se debe analizar de la siguiente manera:

$$I.C.O. = \frac{I}{[I.C.E.E.^a + I.C.E.M.^b + I.C.E.D.^c + I.C.E.T.^d]}$$

Donde

I.C.O.: índice de condición del transformador

$a=0.1, b=0.3, c=0.4, d=0.2$: factores de peso en la evaluación del transformador. Se da mayor peso a la condición dieléctrica y mecánica del transformador.

Índice de seguridad de un transformador (I.S.E.): Una vez calculado el índice de condición del transformador, se correlacionará este índice con el índice de polimerización del transformador. El papel está constituido de celulosa, la longitud de las moléculas de la celulosa del papel se mide en términos del grado de polimerización. Al degradarse la celulosa, reduce el grado de polimerización, se destruyen los enlaces interfibras y causa la pérdida del esfuerzo mecánico. Genera partículas fibrosas. El rompimiento de los polímeros de la celulosa produce una disminución de la resistencia mecánica y eléctrica del papel.

Por lo tanto, las propiedades mecánicas del papel dependen directamente del grado de polimerización. El aumento de degradación del papel se ve reflejado cuando sus propiedades mecánicas van disminuyendo, al punto que el papel no tiene la suficiente consistencia mecánica para soportar un cortocircuito. Esta degradación se ocasiona por la temperatura de operación, por la humedad, el oxígeno y los subproductos de degradación. El índice de polimerización es un número adimensional que puede estar en 1200-200 para un papel nuevo y desgastado, respectivamente. Por esta razón se establecerá la siguiente ecuación para analizar el riesgo implícito de un transformador:

$$I.S.E. = I.C.O.*I.P.O.$$

Donde

I.S.E.: Índice de Seguridad para sustitución de activos

I.C.O.: Índice de condición del transformador

I.P.O.: Índice de polimerización del papel aislante

Se espera que cuanto más altos sean el índice de polimerización y el índice de condición, se dé un valor alto pues el índice de polimerización normalmente será en el orden de los cientos.

Ejemplo de aplicación

Se analizaron tres transformadores con las siguientes características:

Cuadro 2: Características de transformadores especímenes

Descripción	Potencia ONAN / ONAF	Nivel de tensión kV	Tipo de transformador	Años de construcción
Transformador 1	20 / 30 MVA	230/34.5/13.8	Reductor de subestación móvil	1994
Transformador 2	68 / 79 MVA	230/13.8	Elevador	1981
Transformador 3	30 / 55 MVA	230/34.5/13.8	Reductor	2002

Aplicando los criterios anteriores, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 3: Índice de seguridad para transformadores especímenes

Índice de seguridad para sustitución de activos: transformadores de potencia							
Descripción	I.C.E.E.	I.C.E.M.	I.C.E.D.	I.C.E.T.	I.C.O.	I.P.O.	I.S.E.
Transformador 1	0.029	0.458	3.664	0.940	0.240	500	120.15
Transformador 2	0.166	0.465	42.538	1.100	0.140	500	70.11
Transformador 3	0.198	0.635	6.466	0.770	0.209	900	188.21

Se espera que el índice de seguridad de un transformador sea lo más alto posible. Esto indicará que la máquina tiene una probabilidad más alta de tener *mejores condiciones de vida*, comparado con otros de su tipo, de esta manera, será un transformador que garantizará una mayor confiabilidad por su diseño mismo y este será más apto que otras máquinas de similares condiciones.

Conclusiones

Este artículo analiza el transformador desde la óptica de la condición y fundamentado en los cuatro índices de condición. Se logró desarrollar una metodología de pruebas de alta tensión, donde se permite la aceptación y rechazo de transformadores de potencia reparados, constituida por la generación de distintos índices de condición, por lo que constituye un aporte al estado del arte pues nunca antes se había desarrollado un criterio basado en este aspecto. Un conjunto de índices de condición del estado evalúan desde una perspectiva diferente la máquina eléctrica, ya que la tendencia mundial ha ido orientada solamente al análisis del aceite dieléctrico a partir de la concentración de gases disueltos. Este es un aporte importante a la técnica.

La generación de los índices de condición y de seguridad constituyen la contribución más importante al estado de la técnica pues, en esencia, se puede tener una noción del estado del transformador bajo la perspectiva anteriormente descrita.

El índice de seguridad del transformador será un valor adimensional, que nos dará una idea de qué tan seguro será el transformador, comparado con otros de su misma especie. Igualmente será un valor que servirá para la toma de decisiones, sobre el futuro de la máquina y, sobre todo, nos indicará qué tan riesgoso será instalarlo en un lugar específico. Igualmente, será un indicativo de la vida residual de la máquina, posterior a la reparación ya que será función de la condición y el índice de polimerización.

Un aspecto importante, para finalizar, es que la metodología queda abierta a futuros trabajos de investigación que le permitan mejorar, de modo tal que el índice del estado de condición sea un valor más real y aproximado del estado de la máquina. En las recomendaciones se muestran los distintos aportes a esta metodología que, en el futuro pueden ser considerados.

Bibliografía

- Seliavanov A.I., *"Fundamentos de la teoría de envejecimiento de la maquinaria"*. Moscú URSS, Editorial MIR.
- Tereiev B.R., *"Física de los materiales dieléctricos"*, Moscú URSS, Editorial MIR.
- Peebles P., (1980), *"Probability, random variables and random signal principles"*, USA, McGraw-Hill.
- Hubert C. L. (1991), *"Electric Machines"*, USA, Merrill.
- Leibfried T., (April 2013), *"Postmortem Investigation of power Transformers – profile of degree of polymerization and correlation with furan Concentration in the Oil"* IEEE Transaction on Power Delievery, vol. 28, no. 2, pp 886-893.
- Zhang X., (2008), *"Asset-Management of transformers Based on condition Monitoring and Standard Diagnosis"*. Electrical Insulation Magazine, IEEE, vol. 24, pp. 26-40.
- Wang M., (2002), *"Review of condition assessment of power transformers in service"*. Electrical Insulation Magazine, IEEE, vol. 18, pp. 12-25.
- Setayeshmehr A., (Sept. 2004). *"A procedure for diagnosis and condition based maintenance for power transformers"* Electrical Insulation Conference Record of the IEEE International Symposium, pp. 504-507.
- Gockenbach E. (April 2008). *"Condiction monitoring and diagnosis of power transformers"*. International Conference Record of the IEEE on Beijing, pp. 894-897.
- Liu, C. (July 2012.) *"Using data mining to dissolved gas analysis for power transformer fault diagnosis"*. International Conference Record of the IEEE on Bali, pp. 1952-1957.
- Yoshida M. (Sept. 2012) *"New diagnosis method of aging degradation for insulating paper in power transformers by measuring the refractive index of cellulose fibers"*. International Conference Record of the IEEE on Bali, pp. 56-59.
- Gockenbach E., (June 2006). *"Diagnosis of power transformer insulation"*, 8th International Conference properties and applications of dielectric materials Record of the IEEE on Bali, pp. 234-237.
- Dong M. (2002). *"Aging diagnosis of solid insulation for large oil-immersed power transformers"*, Electrical Insulation and dielectric phenomena, annual report conference IEEE, pp. 400-403.
- Yi X.,(October 2013). *"Surface tracking on pressboard in natural and synthetic transformer liquids under AC stress"*, IEEE Transaction on Dielectrics and electrical insulation, vol. 20, no. 5, pp 1625-1634.
- Dehgani A. (July 2012), *"Multivariate Analysis for Correlation among Different Transformer Oil Parameters to Determine Transformer Health Index"* Power and Energy Society General Meeting IEEE.
- Lorin P. (June 2010). *"Increase Transformer reliability and availability: from condition assement to side repair"*. PCIC Europe 2010 Conference Record IEEE.
- Estándar IEC 60076-3 (2000). *"Application guide for partial discharge measurement during a.c. withstand voltage test on transformers according to 12.2, 12.3 and 12.4"*.
- Estándar IEEE C57.12.90 -2000, clause 5.10 *"Insulation Levels"*.
- Estándar IEEE C57.12.90 -1999, clause 10 *"Dielectric Test"*.
- Estándar IEEE C57.12.90 -1999, clause 11 *"Temperature rise"*.
- Estándar IEC 60076 (1993), clause 5 *"test of temperature rise"*.

Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica)

Introduction to Corrosion Phenomena: Types, Influencing Factors and Control for Material's Protection (Technical note)

José Alberto Salazar-Jiménez¹

Fecha de recepción: 27 de enero de 2015

Fecha de aprobación: 30 de abril de 2015

Salazar-Jiménez, J. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 3, Julio-Setiembre. Pág 127-136.

¹ Estudiante de Ingeniería en Materiales, Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: (506)86 61 74 16. Correo Electrónico: jasj.1991@gmail.com

Acerca de este trabajo

Este trabajo presenta información general acerca del fenómeno de corrosión a modo de introducción.

Palabras clave

Corrosión; materiales metálicos; potencial electroquímico; protección de materiales.

Resumen

El fenómeno de corrosión consiste en el proceso de deterioro de materiales metálicos mediante reacciones químicas y electroquímicas, debido a que estos materiales buscan alcanzar un estado de menor potencial energético. La corrosión tiene muchas repercusiones a nivel económico, de seguridad y de conservación de materiales, por lo que su estudio y mitigación es de suma importancia. En este documento se facilita información acerca de, (1) algunos tipos de corrosión que se pueden observar comúnmente, (2) algunos factores que influencia al proceso de corrosión y su velocidad, y (3) algunos tipos de métodos para el control de la corrosión y la protección de materiales ante este fenómeno.

Keywords

Corrosion; Metallic Materials; Electrochemical Potential; Protección of Materials.

Abstract

Corrosion phenomena means to the deterioration of metallic materials due to chemical and electrochemical reactions, because these materials are always trying to reach a state of lower energy potential. Corrosion has many implications in terms of economic issues, security concerns and preservation of materials, so its study and mitigation is highly important. Herein some information is provided about, (1) certain types of corrosion which can be commonly observed, (2) Some factors that influence the corrosion process and speed, and (3) certain types of methods for controlling of corrosion and protection of materials.

El fenómeno de corrosión

La *Corrosión* es un término que se utiliza para describir el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas (Revie y Uhlig, 2008). Para el caso del deterioro relacionado con otros tipos de materiales, como los polímeros y cerámicos, se utiliza el término *degradación*.

Estos materiales metálicos son obtenidos a través del procesamiento de minerales y menas, que constituyen su estado natural, induciéndolos a un estado de mayor energía. El fenómeno de la corrosión ocurre debido a que, con el tiempo, dichos materiales tratan de alcanzar su estado natural, el cual constituye un estado energético de menor potencial, lo que les permite estabilizarse termodinámicamente (Javaherdashti, 2008).

La mayoría de procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación (reacciones electroquímicas), donde para que se desarrollen estos procesos, es necesaria la existencia de tres constituyentes: (1) unos *electrodos* (un ánodo y un *cátodo*), (2) un *electrolito*, como medio

conductor, que en la mayoría de casos corresponde de una solución acuosa, y (3) una *conexión eléctrica* entre los electrodos (ECCA, 2011). La figura 1 muestra de forma representativa un esquema de estos elementos, formando lo que se conoce como una *celda electroquímica*. Las ecuaciones de las reacciones que ocurren en los electrodos son las siguientes:

- En el ánodo:
 $M^0 \rightarrow M^n + ne^-$ (Oxidación)
- En el cátodo:
 $M^n + ne^- \rightarrow M^0$ (Reducción)

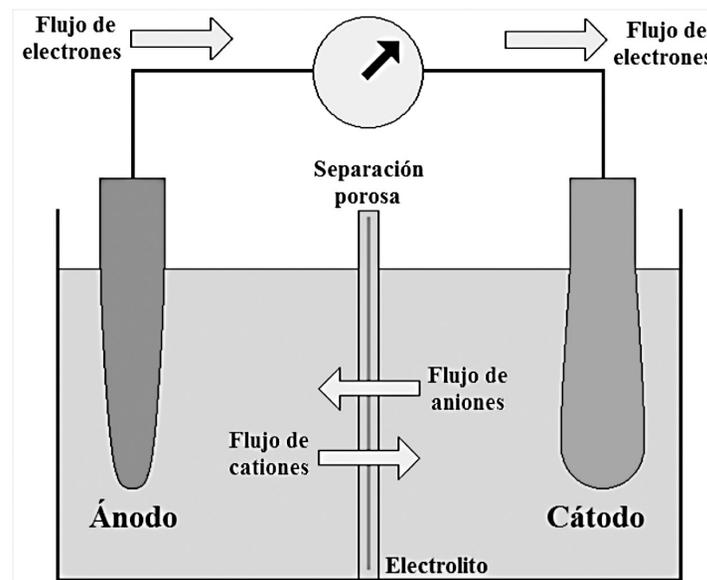


Figura 1. Representación de una celda electroquímica

Ambas reacciones ocurren de forma simultánea (ECCA, 2011). Como se observa en las ecuaciones, el ánodo cede electrones al sistema cuando reacciona, aumentando su número de oxidación, cambiando de su estado metálico base a cationes que se disuelven en el electrolito, siendo este el material que se sufre el fenómeno de corrosión; mientras que, en el cátodo, los aniones metálicos absorben electrones, disminuyendo su número de oxidación, por lo que cambian a su estado base.

El *potencial electroquímico* define la susceptibilidad o la resistencia de un material metálico a la corrosión, cuyo valor varía en dependencia de la composición del electrolito. Cuanto más positivo sea el valor de dicho potencial, más *noble* (resistente) es el material. Mientras que en el caso contrario, cuanto más negativo sea este, más *reactivo* es el material a la corrosión. La *serie galvánica* consiste en una tabla donde se ubican diferentes tipos de materiales respecto al potencial electroquímico de estos. La figura 2 muestra representativamente una tabla de serie galvánica para algunos metales y aleaciones comunes.



Figura 2. Serie galvánica para algunos metales y aleación comunes. (ECCA, 2011)

Los productos que se forman a partir del proceso de corrosión, sobre la superficie del material, pueden afectar de manera negativa o positiva, las propiedades del material, dependiendo de su naturaleza y las condiciones que lo rodean. Para el caso del hierro (y otros metales), el producto que se forma se conoce como *herrumbre*, y tiene una menor densidad que el metal base, lo que provoca que este se desprenda de la superficie, facilitando que la corrosión continúe ocurriendo, consumiendo el material. Por otro lado, para otros tipos de metales, como el aluminio, el níquel o el cromo, los productos de la corrosión tienen una mayor densidad que el material base, formando una capa sólida y estable sobre la superficie de este, evitando que la corrosión se extienda, protegiendo al material. Este proceso se conoce como *pasivación*, fenómeno que brinda la denominación de *inoxidable* a un material como, por ejemplo, los aceros inoxidables (Revie, 2011; Schweitzer, 2010).

A continuación, se presentarán algunos tipos de corrosión, siendo los que se pueden observar con mayor frecuencia. También se mencionarán los factores que mayor efecto tienen sobre la incidencia y la velocidad de este fenómeno. Y, finalmente, se presentarán algunos aspectos a tomar en cuenta respecto al control de la corrosión y la protección de materiales.

Tipos de corrosión

Existen muchos tipos de procesos de corrosión diferentes que se caracterizan dependiendo tanto de la naturaleza del material y de las condiciones del medioambiente, donde se desarrollen. Una forma común de clasificar los tipos de corrosión, es mediante las siguientes cuatro categorías: *corrosión generalizada*, *corrosión localizada*, *corrosión combinada con un fenómeno físico*, y *otros tipos*.

Corrosión generalizada (uniforme)

La *corrosión generalizada*, también nombrada como *corrosión uniforme*, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente. Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia (Revie, 2011). Se puede observar comúnmente en materiales, sobre todo en la industria de la construcción, a base de hierro no aleado con metales inoxidables, como el níquel y el cromo.

La velocidad de corrosión para estos casos, es altamente influenciada por la existencia de impurezas y fases distintas en el material, ya que estas inducen a una variación en la energía potencial, formando electrodos a pequeña escala, propiciando el proceso de corrosión.

Corrosión localizada

La corrosión localizada, al contrario de la corrosión uniforme, representa un mayor riesgo potencial, debido a su difícil detectabilidad ya que se manifiesta en zonas específicas en el material, determinadas tanto por la naturaleza del material, la geometría de este, y las condiciones del medio al que se somete. Los procesos de corrosión localizada de mayor ocurrencia son *galvánica*, por *fisura*, por *picaduras*, por *cavitación* y *microbiológica*.

Corrosión galvánica

La corrosión galvánica ocurre cuando existe una unión, física o eléctrica, entre metales de diferente naturaleza, lo cuales, en la presencia de un electrolito, forman una celda electroquímica, donde el material de menor potencial electroquímico es el que se corroe (Revie, 2011). La figura 3 muestra un ejemplo de este tipo de corrosión.

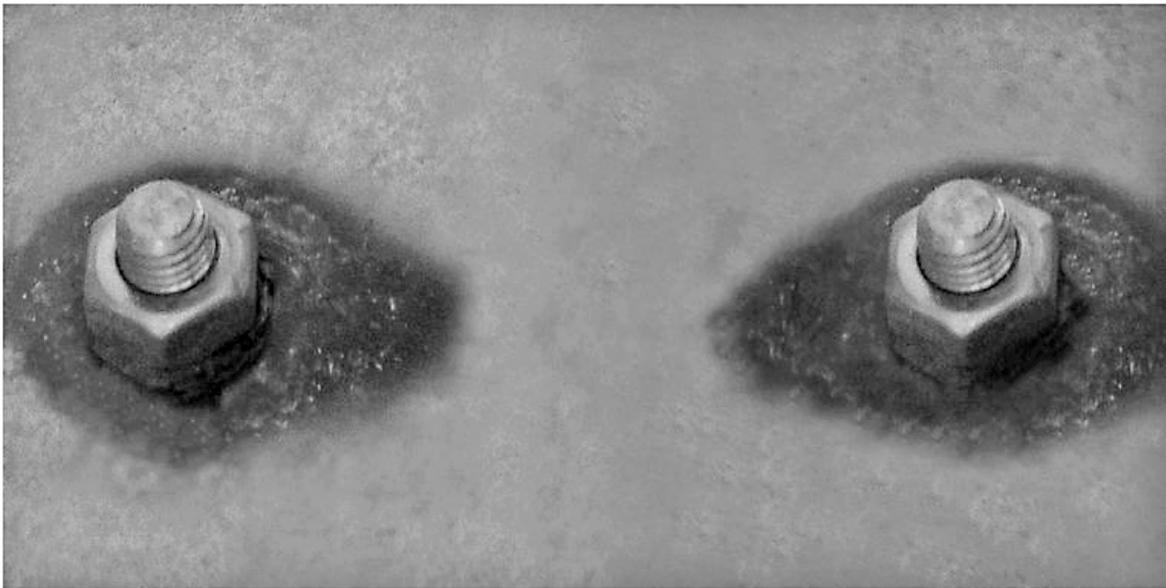


Figura 3. Corrosión galvánica sobre una placa de acero (ánodo) en contacto con unos tornillos y tuercas de acero inoxidable. Tomada de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanic_corrosion-1b.jpg

Un factor de importante consideración es la relación de área de la zona de contacto entre los material. Entre mayor sea la relación del ánodo respecto al cátodo, el proceso de corrosión ocurre con mayor velocidad (Javaherdashti, 2008).

Corrosión por fisuras

Este tipo de corrosión es similar a la corrosión galvánica, que se produce en zonas estrechas donde la concentración de oxígeno es mucho menor que en el resto del sistema, y cuyo efecto induce a que estas zonas de menor concentración de oxígeno actúen como un ánodo, propiciando el proceso de corrosión, en las fisuras.

Corrosión por picaduras (pitting)

La corrosión por picadura, conocida también como *pitting* se presenta en materiales pasivados, debido a las características geométricas del sistema, existe una acumulación de agentes oxidantes y un incremento del pH del medio, lo que propicia el deterioro de la capa pasivada, permitiendo que la corrosión se desarrolle en éstas zonas puntuales.

Corrosión por cavitación

La corrosión por cavitación ocurre en sistemas de transporte de líquidos, hechos de materiales pasivados, donde por cambios de presión en el sistema, se producen flujos turbulentos que forman burbujas de aire, las cuales implosionan contra el material del sistema, deteriorando la capa de pasivación, facilitando el desarrollo del proceso de corrosión, de forma similar a la corrosión por picaduras, cuya diferencia se observa, en que el efecto de la cavitación es de mayor tamaño (Revie, 2011).

Corrosión microbiológica

La corrosión microbiológica, en realidad no es un tipo de corrosión en sí, sino que más bien es un fenómeno que facilita el desarrollo de otros procesos de corrosión. Las bacterias son los microorganismos más influyentes en este caso, por lo que también es conocida como *corrosión bacteriana* y se produce en sistemas de transporte de líquido, facilitando la corrosión por picaduras.

La naturaleza del líquido que se transporta en estos sistemas, propicia la acumulación y reproducción de bacterias, las cuales se aglomeran, y propician las condiciones, como variación en la concentración de sales y oxígeno, para que se desarrollen otros procesos de corrosión como el *pitting*.

Corrosión combinada con un fenómeno físico

Este tipo de corrosión también se puede incluir dentro de la clasificación de corrosión localizada, pero la diferencia con estos es que se encuentran condicionados por la presencia de un fenómeno físico, que funciona como iniciador del proceso de corrosión.

Corrosión – erosión

Este tipo de corrosión se observa en sistemas de transportes de fluidos hechos con materiales pasivados, donde existen partículas de mayor dureza que la capa de pasivación. Estas partículas al estar en movimiento, erosionan la capa pasivada, permitiendo que el proceso de corrosión se desarrolle (Javaherdashti, 2008).

Corrosión – tensión

Ocurre cuando en un material, sometido a esfuerzo de tensión, ya sea de forma interna o externa, se forman pequeñas fisuras, que dan inicio al proceso de corrosión (Revie, 2011). El material que permanece en ambos fenómenos, se deteriora con mayor rapidez, que si estuviese bajo el efecto individual de cada uno, ya que la corrosión debilita el material, lo cual permite que la tensión tenga mayor impacto, fracturando en mayor medida el material, lo cual a su vez incita a que la corrosión se propague en un área mayor, y así, sucesivamente.

Corrosión – fatiga

Este proceso se desarrolla en materiales, sujetos a esfuerzos externos, similar al de tensión, con la diferencia de que estos esfuerzos son cíclicos o fluctuantes. De igual forma que con el proceso de tensión, el material se deteriora en mayor medida mediante la combinación de los dos fenómenos, comparado a cada uno por separado (Revie, 2011).

Otros tipos de corrosión

También existen muchos tipos de corrosión que no caen dentro de las categorías anteriores. Algunos de estos son, la *desaleación*, la corrosión *filiforme* y la *oxidación*.

Desaleación

La *desaleación* es un proceso de corrosión que actúa sobre aleaciones metálicas, en donde uno de los elementos, de mayor afinidad con el oxígeno, se separa de la aleación y dejan una estructura porosa de pobres propiedades conformada por el resto de constituyentes. El proceso se nombra alternativamente respecto al elemento que se separa de la aleación como, por ejemplo, la *descincificación* para el latón, aleación que sufre comúnmente de este tipo de corrosión, en la cual se separa el zinc de la matriz cobre (Revie, 2011).

Filiforme

La corrosión filiforme se presenta en ambientes de alta humedad sobre materiales con recubrimientos orgánicos (pinturas), los cuales al ser rayados, se induce el desarrollo de la corrosión, que se propaga como filamentos delgados (Revie y Uhlig, 2008).

Oxidación

La oxidación es un tipo de corrosión que se desarrolla en procesos de alta temperatura, en la presencia de algún gas oxidante, como el oxígeno, azufre y elementos halógenos. Las reacciones relacionadas son meramente química al no existir un electrolito de por medio, por lo que también se conoce como *corrosión seca*. Las moléculas del gas oxidante reaccionan con el material involucrado, donde, por efecto de la temperatura, el compuesto formado se difunde al interior del material, permitiendo que el proceso continúe, fragilizando el material.

Factores que influyen el proceso de corrosión

Existen muchos factores que influyen el proceso de corrosión, donde se debe de tomar en cuenta tanto las características del material sobre el que incide y el medio que rodea a este. A continuación, se mencionan algunos factores, considerados como los de mayor efecto sobre el proceso corrosivo.

Acidez de la solución

El pH de una solución es una propiedad que define la cantidad de iones de hidrógeno libres en dicha solución. Si el pH es menor a 7 ($\text{pH} < 7$) se dice que la solución es ácida. Esto significa que existe una concentración relativamente alta de iones hidrógeno libres en la solución, los cuales son capaces de recibir electrones para poder estabilizarse.

Debido a la capacidad de aceptar electrones, las soluciones ácidas son más corrosivas que las soluciones tanto neutrales ($\text{pH} = 7$) como alcalinas ($\text{pH} > 7$) [6], ya que permiten que la zona anódica reaccione en mayor proporción, ya que se liberan electrones de tales reacciones.

Sales disueltas

Las sales ácidas, al diluirse en la solución electrolítica, disminuyen su pH, acelerando el proceso de corrosión por el efecto de acidez. Algunos ejemplos de sales ácidas son, el cloruro de aluminio, el cloruro de hierro y el cloruro de amonio (Charng y Lansing, 1982).

Por otro lado, las sales alcalinas, incrementan el pH de la solución electrolítica, por lo que en algunos casos funcionan como inhibidores del proceso de corrosión. Ejemplos de estas sales son el fosfato trisódico, tetraborato de sodio, silicato de sodio y el carbonato de sodio (Charng y Lansing, 1982) .

Capas protectoras

La tendencia a la corrosión de un material se puede reducir con la existencia de capas que protejan su superficie. Estas capas pueden ser aplicadas artificialmente, en forma de recubrimientos; o pueden aparecer a través del fenómeno de pasividad, formándose capas de óxidos metálicos que impiden el avance del proceso corrosivo (Charng y Lansing, 1982) .

Concentración de oxígeno

La concentración de oxígeno en el medio electrolítico puede acelerar o retardar el proceso de corrosión, dependiendo de la naturaleza del material (Charng y Lansing, 1982) . Para el caso de materiales ferrosos, al aumentar la concentración de O_2 , aumenta la velocidad de corrosión pues el producto corrosivo no protege al material. Mientras que para materiales pasivables, cuan mayor sea la concentración de O_2 , mayor capacidad tendrá el material de formar la capa protectora que lo caracteriza.

Temperatura

La velocidad de corrosión tiende a aumentar al incrementar la temperatura, debido a que se acelera la difusión del oxígeno del medio hacia el material afectado, inclusive a través de capas de pasivación, fragilizándolo a este. Experimentalmente se ha demostrado que un aumento en la temperatura de 2° C, incrementa al doble la tasa de corrosión, aproximadamente (Charng y Lansing, 1982). La temperatura, representa el factor más importante para el desarrollo del proceso de corrosión por oxidación, como se mencionó con anterioridad.

Velocidad de flujo

En sistemas de transporte de fluidos, al aumentar la velocidad de flujo del medio, por lo general, aumenta la tasa de corrosión, debido a que: (1) permite a las sustancias corrosivas alcanzar y atacar zonas aún no afectadas, y (2) evita en cierta medida la formación y/o acumulación de capas resistentes a la corrosión que protejan al material por efecto erosivo (Charng y Lansing, 1982) .

Control de la corrosión y protección de materiales

Debido a las implicaciones económicas, de seguridad y de conservación de materiales, que envuelven los efectos negativos de los procesos de corrosión (Schweitzer, 2010), actualmente se ha investigado y desarrollado diferentes tipos de métodos para el control de este fenómeno, permitiendo proteger los materiales expuestos a este.

La selección de un material resistente a la corrosión, siempre es el primer tipo de control que se debe considerar. Esto en muchas ocasiones no es posible, ya que este es limitado por (1) las condiciones del medio circundante; (2) las condiciones dimensionales y geométricas necesarias en el material en función de la aplicación requerida; y (3) un costo económico elevado. Lo cual hace que la selección de un material resistente no sea factible y/o posible, por lo que se deben considerar otros tipos de métodos para esto.

A continuación, se presentan algunos métodos de control de la corrosión, para la protección de los materiales afectados. Estos son los que más se emplean a nivel comercial.

Inhibidores

Un *inhibidor* es una sustancia química que, al añadirse al medio corrosivo, disminuye la velocidad de corrosión (Revie y Uhlig, 2008). Existen varios tipos de estas sustancias; los más conocidos son los *anódicos* y *catódicos*.

Inhibidores anódicos (pasivadores)

Los inhibidores anódicos, también llamados *pasivadores* son sustancias oxidantes, por lo general, inorgánicas, que aumentan el potencial electroquímico del material por proteger, volviéndolo más noble (Revie, 2011).

Inhibidores catódicos

Los inhibidores catódicos controlan el pH del medio corrosivo, que impide que las reacciones de reducción ocurran, Estos evitan la reducción ya sea, de iones de hidrógeno en (1) moléculas de hidrógeno, en medios ácidos, o (2) de oxígeno, en medios alcalinos (Revie, 2011).

Recubrimientos orgánicos

Los recubrimientos orgánicos son de sustancias a base de polímeros (pinturas), resistentes a la degradación, que se emplean para recubrir el material por proteger. Estos actúan mediante ya sea, (1) la formación de una barrera, que impide en gran medida la penetración de oxígeno y agua, o (2) la inhibición del proceso de corrosión, al incrementar tanto la resistividad eléctrica como la iónica, cortando el ciclo de corrosión (Schweitzer, 2006).

Recubrimientos metálicos

Consiste en recubrir el material a proteger con algún metal que tenga mayor resistencia a la corrosión. Existen diferentes métodos para efectuar estos recubrimientos, y los más utilizados son el *electroplating* y el *galvanizado* (Revie y Uhlig, 2008).

Electroplating

Es un proceso de protección en el que se utiliza una corriente eléctrica externa para depositar un material con mayor resistencia a la corrosión sobre su superficie.

Galvanizado

El material por proteger se sumerge sobre un baño del metal de recubrimiento, el cual tienen un mayor potencial electroquímico.

Recubrimientos no metálicos

Trata sobre recubrir el material a proteger con el uso de un material no metálico, que impida el proceso de corrosión. Existen diferentes métodos para efectuar estos recubrimientos. El más utilizado es el *anodizado* (Revie y Uhlig, 2008). Este método se emplea en materiales pasivables, y consiste en el uso de una corriente eléctrica sobre el material por proteger, de modo que el potencial electroquímico del sistema induzca a un comportamiento anódico a dicho material, generando el desarrollo de una capa de pasivación.

Protección catódica

Radica en modificar relativamente el valor del potencial electroquímico del material por proteger, haciendo que este material se comporte como un cátodo. Se emplea mayormente en sistemas enterrados o inmersos en agua de mar. Existen 2 formas de realizar esto, mediante (1) una *corriente impresa* o (2) un ánodo de sacrificio (Revie y Uhlig, 2008).

Ánodo de sacrificio

Se conecta eléctricamente un material con menor potencial electroquímico, el cual se comporta como el ánodo del sistema. Este ánodo protege al material, al ser degradado por la corrosión en lugar de dicho material, por lo cual se conoce como un ánodo de sacrificio.

Corriente impresa

Es un proceso similar al de ánodo de sacrificio, cuya diferencia consiste en inyectar una corriente externa al sistema debido a que, por sí solo, este sistema no generaría suficiente corriente para poder formar la celda electroquímica, siendo ineficaz contra la corrosión. La corriente impresa hace posible la protección del material en cuestión, al promover las reacciones electroquímicas, empleando el ánodo de sacrificio.

Protección anódica

Mucho menos conocida que el método de protección catódica, la protección anódica consiste en disminuir el potencial electroquímico del material a proteger, a través de la inyección de una corriente externa, volviéndolo más anódico, lo cual induce al material hacia un estado de pasivación, formándose la capa pasivada que protege al material. Al mantener la corriente externa, la capa de pasivación continúa en constante regeneración, evitando que se deteriore el material. Solo puede ser empleado en algunos tipos de materiales, sobre todo los metales de transición.

Comentario final

Se han presentado, a modo de introducción, información sobre, (1) algunos tipos de corrosión que se pueden observar comúnmente, (2) algunos factores que influencia al proceso de corrosión y su velocidad, y (3) algunos tipos de métodos para el control de la corrosión y la protección de material ante este fenómeno.

Bibliografía

- Charng T. y Lansing F. (1982). Review of Corrosion causes and corrosion control in a technical facility. NASA Technical Reports, TDA Progress Report 42-69, pp. 145-156.
- ECCA (2011). The Basics of Corrosion. TechnicalPaper. Obtenido desde: <http://www.prepaintedmetal.eu/repository/Annina/Basic%20of%20corrosion%20021211.pdf>.
- Javaherdashti R. (2008). Microbiologically Influenced Corrosion - An Engineering Insight. Springer London. DOI:10.1007/978-1-84800-074-2.
- Revie R. W. (2011). Uhlig's Corrosion Handbook. Wiley & Sons, Inc: USA.
- Revie R. W. y Uhlig H. H.(2008). Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering. Wiley & Sons, Inc: USA.
- Schweitzer. P. A. (2010). Fundamentals of Corrosion – Mechanisms, Causes and Preventive Methods. Taylor & Francis Group, LLC: USA.
- Schweitzer. P. A. (2006). Paints and Coatings – Applications and Corrosion Resistance. Taylor y Francis Group, LLC: USA.