

ISSN: 1390-8413

Volumen 12 | Número 2 | Diciembre 2018

Revista Científica

Ciencias Naturales y Ambientales



UNIVERSIDAD
DE GUAYAQUIL



Facultad
de Ciencias Naturales

ÁREA CIENCIAS DE LA VIDA

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad de Guayaquil

Responsables Editoriales

Editor: Dra. Carmita Bonifaz de Elao, MSc. (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Consejo Editorial

PhD. Galo Salcedo Maridueña (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

PhD. Beatriz Pernía Santos (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

MSc. Ariel Escobar Troya (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

MSc. Xavier Cornejo Sotomayor (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

MSc. José Antepara Basurto, Coordinador editorial (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Comité Científico Internacional

PhD. Claes Persson, (Departamento de Biología y el Medio Ambiente, University of Gothenburg, Suecia)

PhD. Bertil Ståhl, (Departamento de Biología, Gotland University, Suecia)

PhD. Eulogio Chacón Moreno (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas -ICAE)

PhD. María Eugenia Rondón (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Química)

PhD. Jaime R. Cantera-Kintz (Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia)

Traducción

MSc. Carlos Montalvo Patiño

Impresión y acabados

Imprenta de la Universidad de Guayaquil

Edición patrocinada y financiada por la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

Esta publicación se envía a personas o instituciones por intercambio con otros similares, dedicada a las Ciencias Naturales.

This publication is sent to people or institutions for exchange with other similar issues dedicated to Natural Sciences.

Todos los artículos son revisados por pares calificados, revisores independientes.

All articles are peer-reviewed by qualified, independent reviewers.

Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales es de periodicidad semestral y se distribuye por canje con otras publicaciones dedicadas a temas afines. Toda correspondencia que tenga relación con la Revista deberá ser dirigida a la editora, Carmita Bonifaz de Elao, a la dirección que se indica más adelante.

Ilustración de portada: Tirano melancólico (*Tyrannus melancholicus*). Ilustración: Juan Castillo L. Estudiante de Biología Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

Incluida en el Directorio de LATINDEX

con el número de Folio 16446,

Vol. 12(2), Se terminó de editar en Diciembre de 2018.

Canje, suscripciones y avisos, dirigirse a:

Exchange, subscriptions and publicity, go to:

Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales

Código Postal 090612

Avenida Raúl Gómez Lince s/n y Avenida Juan Tanca Marengo

<https://www.revistas.ug.edu.ec/index.php/cna>

revistacienciasnaturales@ug.edu.ec

Tel.: (04) 3080777 - 3080758 ext. 200

Guayaquil, Ecuador



Características morfométricas de los otolitos de *Ophichthus remiger* provenientes de la pesquería en la costa ecuatoriana

Morphometric characteristics of otoliths of *Ophichthus remiger* from the fishery on the Ecuadorian coast

Justhine Guerrero Arias^{1*}, René Zambrano² & Esteban Elías³

¹Profesional, Egresado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanga Marengo, Guayaquil, Ecuador

²Departamento de Ciencias del Mar, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raul Gómez Lince S/N y Av. Juan Tanga Marengo, Guayaquil, Guayas 090601, Ecuador

³Proceso de Investigación de Recursos Bioacuáticos y su Ambiente (IRBA), Instituto Nacional de Pesca, Letamendi #102 y la Ría, Guayaquil, Guayas 090308, Ecuador

Recibido 1 de agosto 2018; recibido en forma revisada 26 de agosto 2018, aceptado 3 de octubre 2018
Disponible en línea 20 de diciembre 2018

Resumen

La anguila común (*Ophichthus remiger*) es una especie con valor comercial de la que son limitados los conocimientos sobre sus aspectos biológico-pesqueros, entre ellos las relaciones biométricas. El objetivo de este trabajo fue determinar las características morfométricas de los otolitos y su relación con la talla, así como el peso de la anguila común en Ecuador. Se analizaron datos de tallas de esa especie recolectados por el Instituto Nacional de Pesca en los puertos de desembarque de Manta, Anconcito y Posorja, así como 241 pares de otolitos extraídos en muestras de tales sitios. Las dimensiones (largo y ancho) y el peso de otolito fueron comparadas entre el lado izquierdo y derecho de cada sexo y entre ellos, mediante análisis de varianza de un factor (ANOVA) y multivariado (MANOVA). Se realizaron regresiones lineales entre las dimensiones y pesos del otolito respecto con la longitud total del organismo. No se encontraron diferencias significativas entre los otolitos izquierdo y derecho en cada sexo ($p > 0.05$), pero sí entre ellos ($p < 0.01$). La anguila común presentó un crecimiento isométrico entre la longitud y ancho del otolito con respecto de la talla del organismo mientras que, con el peso la alometría fue negativa; adicionalmente, en esta última relación se encontraron dos agrupaciones de datos. Los otolitos son similares en ambos lados en cada sexo, aquello indica la validez de la elección de uno u otro en análisis de retrocálculo, por esto las diferencias encontradas en las dimensiones de otolito pueden deberse a condiciones genéticas o ambientales. Los dos grupos de datos encontrados en la relación del peso del otolito con la talla del organismo pueden interpretarse como individuos diferenciados por el grado de desarrollo gonadal.

Palabras claves: Alometría, anguila común, relaciones biométricas, retrocálculo.

Abstract

The common eel (*Ophichthus remiger*) is a species of commercial value, of which, the biological-fishing aspects as the biometric relations are poorly known. The aim of this work was to determine the morphometric characteristics of the common eel in Ecuador as the otoliths and the correlation of those with the size and weight. Size data of this species collected by the Instituto Nacional de Pesca were analyzed at the landing ports of Manta, Anconcito and Posorja, and 241 pairs of otoliths were extracted from samples at those sites. The sizes (length and width) and the weight of otoliths were compared between the left and right side of males and females and between those by analysis of variance of a factor (ANOVA) and multivariate (MANOVA). Linear regressions between sizes and weights of otoliths correlated to the total length of organisms were performed. No significant differences were found between left and right side otoliths in each sex ($p > 0.05$); however, differences among males and females ($p < 0.01$) were found. The common eel presented an isometric growth between the length and width of otoliths, those were correlated to the size of the organism, the allometry correlated to weight was negative, and two groups of data were found on the latter. The otoliths are similar on both sides of each sex, that indicates the validity of the choice of one or the other in retrocalculus analysis. The differences found in the sizes of otoliths may be due to genetic or environmental conditions. The two groups of data found in the relationship between otolith' weight and body size can be explained as individual differentiation by the degree of gonadal development.

Keywords: Allometry, biometric relationships, common eel, retro-calculus.

* Correspondencia del autor:
E-mail: eddie_zam89@hotmail.com



Introducción

Las relaciones morfométricas son análisis cuantitativos que comprenden el tamaño y la forma de los organismos, estas son utilizadas principalmente en la determinación de procesos microevolutivos en especies de importancia comercial como la macarela, sardina, anchoveta (Cortes, Oyarzun, & Galleguillos, 1996; George-Nascimento & Arancibia, 1992). En peces se han utilizado diferentes tipos de huesos para establecer relaciones morfométricas; en este sentido, los otolitos son reconocidos como una de las estructuras anatómicas más útiles debido a la forma específica para cada especie (Valle, 2014).

Los otolitos son cuerpos policristalinos localizados en el oído interno de los peces, cuya función es intervenir en la percepción del sonido y del equilibrio (Gauldie, 1993). Presentan una morfología que varía entre especies, por lo que son utilizados en estudios de ecología trófica, ecomorfología, filogenia y biología pesquera (Vanina & Martins, 2015). Una especie sujeta a análisis morfométricos es la anguila común *Ophichthus remiger* (Valenciennes, 1837), esta es un recurso pesquero en la costa continental ecuatoriana. La anguila común pertenece a la familia Ophichthidae, comprende alrededor de 53 géneros y 250 especies de peces moderadamente grandes (Chicaiza, 2013). Los estudios realizados señalan que la anguila común es una especie con interés comercial, siendo los países asiáticos el principal mercado. En Ecuador, el Instituto Nacional de Pesca (INP) implementó un programa de seguimiento a esta pesquería referente a las zonas de pesca, desembarques y muestreo biológico, para determinar el desarrollo gonadal y la proporción sexual, con la finalidad de conocer los principales aspectos biológicos-pesqueros de la captura industrial de la anguila común (Chicaiza, 2013).

Entre los estudios realizados en la anguila común está el de Goicochea, Mostacero y Moquillaza (2012) en Perú, que muestra la edad según los anillos de crecimiento de los otolitos. Ellos demuestran que la periodicidad de formación de anillos es anual, con un pico máximo en julio. Por su parte, Vera (2004) relacionó la longitud de peso determinando que no existen diferencias significativas entre las regresiones (orígenes y pendientes) para ambos sexos; además, se observaron dos tipos básicos de otolitos, uno con núcleo hialino y otro con núcleo opaco.

En otras especies de anguilas se ha reportado que la relación longitud - peso indica un crecimiento isométrico como lo menciona Pathak, Zahid, & Serajuddin (2013) en estudios realizados en la anguila espinosa (*Macrognathus pancalus*) en las cuencas del río Ganges y Brahmaputra, India. En comparación con lo reportado, Rahman, Hossain, Hossain, Ahamed & Ohtomi (2012) indicaron un crecimiento alométrico negativo entre sexos de la anguila (*Macrognathus aculeatus*) en el río Ganges, al noroeste de Bangladesh. Para el caso de la anguila común, las relaciones morfométricas entre los otolitos y la talla de los individuos no han sido abordados. Por lo tanto,

el objetivo del presente trabajo es determinar las características morfométricas de los otolitos relacionarlos con la talla y peso de la anguila común en Ecuador. Con ello se pretende crear una línea base que pueda servir para estudios de retrocálculo y/o de ecología trófica.

Metodología

Se analizaron los datos provenientes de la base de datos del proyecto "Valoración y proyección de los recursos pesqueros acuícolas para el fortalecimiento económico y social del sector pesquero ecuatoriano 2013-2018" de la componente anguila común (*Ophichthus remiger*), correspondiente a la investigación del Instituto Nacional de Pesca (INP), patrocinada por la Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENACYT). La información presentó datos de tallas (longitud total) y sus otolitos asociados, estos fueron recolectados durante los años 2013 y 2014 en los puertos de desembarque de Manta, Anconcito y Posorja (figura 1).

Los otolitos fueron analizados registrando dos de sus dimensiones. *i*) la longitud total (L_o), que comprende desde la distancia entre el margen anterior y posterior; *ii*) el ancho total (A_o), que corresponde a la distancia entre el margen superior y el inferior.

Las mediciones de los otolitos se desarrollaron utilizando el estereoscopio Leica M 125 que incorpora una cámara digital Leica DMC2900 y el analizador de imagen LAS versión 4.4 (Figura 2). El peso del otolito fue obtenido mediante una balanza analítica de 0.0001 gr de precisión.

El índice de esfericidad del otolito se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Volpedo y Echeverría (2003), la cual relaciona el ancho y el largo del otolito para determinar si su forma es circular o elongada con base en la siguiente ecuación:

$$E = \left(\frac{A_o}{L_o} \right) \times 100$$

E : índice de esfericidad; A_o : ancho del otolito (mm);
 L_o : largo del otolito (mm).

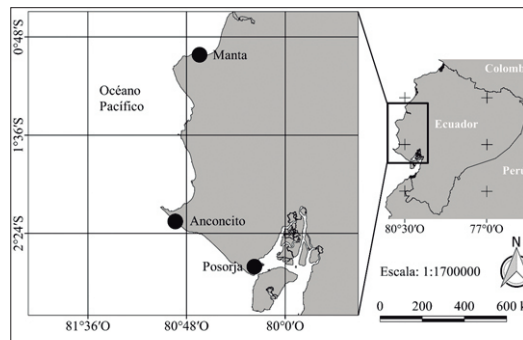


Figura 1. Puntos de desembarque y de recolección de muestras de la anguila común (*Ophichthus remiger*) en la costa continental ecuatoriana.

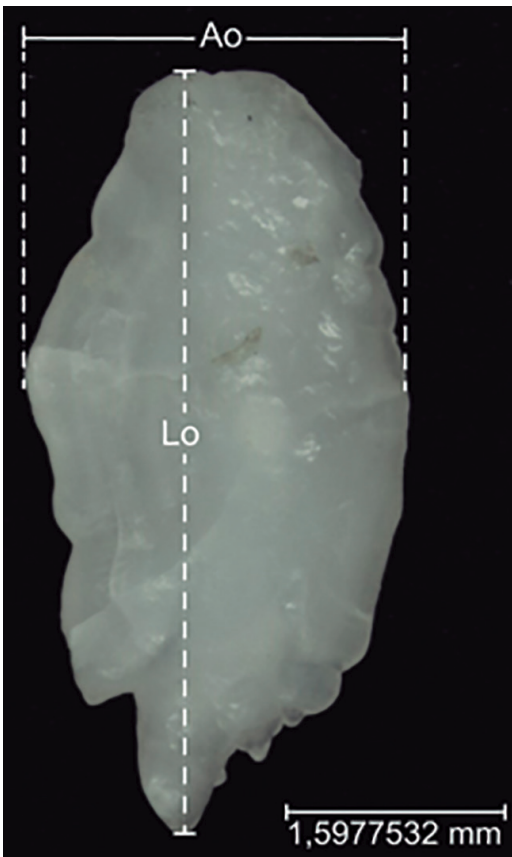


Figura 2. Otolito izquierdo de anguila común (*Ophichthus remiger*) proveniente del muestreo biológico realizado en la costa continental ecuatoriana.

Las dimensiones (Ao , Lo) y pesos (Po) de los otolitos entre el izquierdo y derecho, así como, entre sexos, fueron comparados mediante un análisis de varianza multivariado (MANOVA, por sus siglas en inglés) según los estadísticos de Wilks, Pillai, Lawley-Hotelling, Roy (Leguá, Plaza, Pérez, & Arkhipkin, 2013). El MANOVA se realizó utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2011). Debido a que en hembras existió mayor cantidad de información, previo a las comparaciones de las dimensiones y pesos de los otolitos, se realizó un balance de datos mediante el método *bootstrap* sin reemplazo, utilizando el programa Stata/MP versión 14.0. El número de datos de hembras se redujo para balancear las muestras según la cantidad de datos de los machos.

Las relaciones morfométricas entre las dimensiones y pesos de los otolitos con respecto a la longitud total del organismo se realizó mediante regresiones lineales. Previo a ese análisis, los datos fueron transformados a su logaritmo natural para reducir su dispersión.

Resultados

Un total de 241 pares de otolitos fueron analizados. El 30% correspondió a machos y el 71% a hembras. Las tallas promedio y la dispersión de los datos fueron similares entre sexos (Tabla 1).

Los valores del índice de esfericidad obtenidos fueron 0,9890 para machos y 0,6496 para hembras. La esfericidad no mostró diferencias significativas entre los otolitos izquierdo y derecho en cada sexo y entre ellos. Las dimensiones del otolito únicamente mostraron diferencias significativas entre machos y hembras (Tabla 2).

Las dimensiones y pesos de los otolitos indicaron alta correlación con la longitud total de los individuos. Se encontró un crecimiento isométrico de las dimensiones del otolito respecto con la longitud total, mientras que, con el peso se observó una alometría negativa (Tabla 3).

Las regresiones lineales mostraron una tendencia positiva en cuanto a la longitud y ancho del otolito con longitud total de la especie. Los pesos del otolito y la longitud de la especie señalaron una dispersión de los datos en el que se puede interpretar como dos grupos de datos (figura 3).

Tabla 1. Valores de la longitud total máxima (L_{max}), mínima (L_{min}) y media (L_{med}), desviación estándar (DE) y número de individuos (n) registrados para machos y hembras de la anguila común (*Ophichthus remiger*) en la costa continental ecuatoriana.

	L_{max}	L_{min}	L_{med}	DE	n
Macho	25,5	115,58	61,7	21,4	69
Hembra	23,5	138,50	77,0	25,9	172

Tabla 2. Valores de probabilidad (p) estimados para el índice de esfericidad, las dimensiones (Lo = longitud, Ao = ancho) y peso (Po) del otolito para machos, hembras y entre sexos estimados para la anguila común (*Ophichthus remiger*), en la costa continental ecuatoriana.

	Índice de esfericidad	$Lo/Ao/Po$
Macho (izquierdo/derecho)	$p = 0,6427$	$p < 0,989$
Hembra (izquierdo/derecho)	$p = 0,2931$	$p < 0,6496$
Ambos sexos	$p = 0,2534$	$p < 0,0001$

Tabla 3. Valores de los parámetros de la ecuación de regresión, para las relaciones de la longitud total del organismo (Lt) vs longitud total del otolito (Lo), su ancho (Ao) y peso (Po); a, intercepto; b, pendiente; r², coeficiente de determinación.

	Machos			Hembras		
	a	b	r ²	a	b	r ²
Ln Lo vs Ln Lt	2,48	1,09	0,7472	2,67	1,01	0,7343
Ln Ao vs Ln Lt	3,21	1,00	0,6853	3,27	0,99	0,7335
Ln Po vs Ln Lt	4,79	0,13	0,2920	4,91	0,14	0,0001

Discusión

El índice de esfericidad no mostró diferencias significativas entre los otolitos izquierdos y derechos de cada sexo. Aquello indica que se puede utilizar indistintamente el otolito de cualquier lado en análisis de retrocálculo, cuando solo se dispone de una de estas estructuras (Short, Christopher Gburski, & Kimura, 2006). Por otra parte, Volpedo y Echeverría (2003) mencionan que, el índice de esfericidad puede usarse para discriminar entre los peces bentónicos y los pelágicos. Para la anguila, el índice de esfericidad denotó que es una especie bentónica. Los otolitos de los peces bentónicos son de forma poligonal o redondeada, bordes regulares, cara externa con áreas triangulares, mientras que, los peces pelágicos presentan otolitos con forma oblonga o alargada, bordes irregulares y cara externa con estrías (Menni & Gosztonyi, 1982; Volpedo & Echeverría, 2000).

Existieron diferencias significativas entre las dimensiones del otolito entre machos y hembras. Aquello puede estar relacionado con condiciones genéticas que regulan la forma del otolito o condiciones ambientales, como la temperatura, que en aguas saturadas de carbonato regulan la cantidad

de material depositado durante la formación del otolito (Lombarte & Lleart, 1993).

Las dimensiones y pesos de los otolitos mostraron altos valores de determinación respecto con la longitud del organismo. Además, se encontró una tendencia lineal positiva que demuestra un crecimiento isométrico entre los otolitos y la longitud total de la anguila. Jawad, Ambuali, Al-Mamry y Al-Busaidi (2014) reportan que conforme aumenta la talla del organismo se incrementa proporcionalmente el tamaño de los otolitos según factores externos (e.g. condiciones ambientales). En el caso del peso del otolito, se observó una alometría negativa, esto significa que a medida que aumenta el tamaño del pez disminuye el depósito de proteínas y carbonato de calcio en el otolito (Santana, Espino, Gallardo, & Garcia, 2008).

Los dos grupos de datos encontrados en la relación de las dimensiones del otolito con la talla del organismo se pueden asumir como individuos diferenciados por el grado de desarrollo gonadal; esto podría sugerir la presencia de organismos con maduración gonadal avanzada y desovados o inmaduros, según la condición reproductiva de la especie. Aquello se basa en que la anguila común posee desoves parciales, con pulsos de incremento y disminución del índice gonadosomático

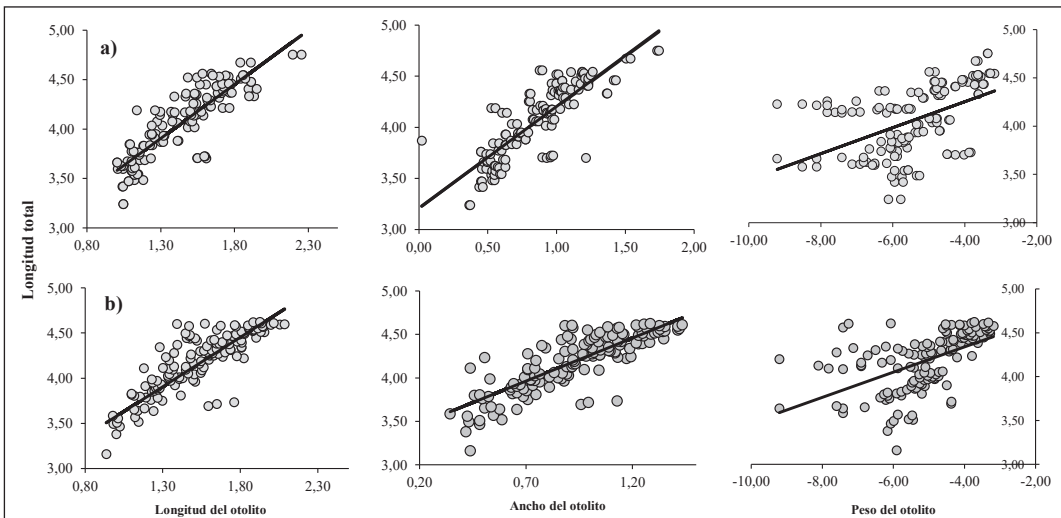


Figura 3. Regresiones lineales ajustadas a las dimensiones y peso del otolito versus la longitud total de machos (a) y hembras (b) de la anguila común (*Ophichthus remiger*), recolectados en la costa continental ecuatoriana. Valores correspondientes a logaritmos naturales.

de forma intra-anual (Chicaiza, 2016). Debido a la escasa información y al tamaño de muestras utilizadas en este estudio, la relación entre el peso del otolito y la talla debe tomarse con cautela.

Los datos presentaron una mayor proporción de hembras, lo cual influye en la connotación de los resultados presentados. Esto ha sido denotado también en el trabajo de Vera (2004) donde se encontró mayor proporción de hembras en sus muestras. Prospectivamente se debe balancear mejor el tamaño muestral por sexos, para que las comparaciones entre ellos sean más robustas.

Conclusiones

Los otolitos izquierdos y derechos son similares en cada sexo, esto refleja que la elección de uno u otro es indiferente.

Las dimensiones de los otolitos únicamente presentaron diferencias entre sexos, lo que sería resultado de condiciones genéticas o ambientales. Las dimensiones del otolito con respecto a la longitud total presentaron un crecimiento isométrico, lo cual puede estar relacionados con las condiciones ambientales.

Las regresiones lineales entre la longitud y ancho del otolito con respecto a la talla del organismo presentaron una tendencia positiva, esto indica que, conforme aumenta la talla del organismo se incrementa proporcionalmente el tamaño de los otolitos.

Los pesos del otolito y la longitud total de la especie mostraron una alometría negativa y se observaron dos grupos de datos, estos pueden estar condicionados por factores reproductivos como la diferencia en el grado de desarrollo gonadal.

Referencias

Chicaiza, D. (2013). Pesca industrial de anguila común (*Ophichthus remiger*) en el golfo de Guayaquil-Ecuador: Análisis de algunos indicadores biológicos y pesqueros durante el seguimiento a la pesca piloto 2012. Instituto Nacional de Pesca. Informe Técnico.

Chicaiza, D. (2016). Indicadores biológicos reproductivos de la anguila común (*Ophichthus remiger*) y sus implicaciones en el manejo de la pesca industrial en el Golfo de Guayaquil. Instituto Nacional de Pesca. Informe Técnico. 1-35.

Cortes, N., Oyarzun, C., & Galleguillos, R. (1996). Diferenciación poblacional en sardina común, *Strangomera bentincki* (Norman, 1936). II: Análisis multivariado de la morfometría y merística. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 31(2), 91-105.

Cubillos, L. (2005). Biología pesquera & evaluación de stock. *Laboratorio Evaluación de Poblaciones Marinas & Análisis de Pesquerías, Departamento de Oceanografía*, 198 pp.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2011). InfoStat. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. Retrieved from <http://www.infostat.com.ar/>

Gauldie, R. W. (1993). Polymorphic crystalline structure of

fish otoliths. *Journal of Morphology*, 218(1), 1-28.

George-Nascimento, M., & Arancibia, H. (1992). Stocks ecológicos del jurel (*Trachurus symmetricus murphy* Nichols) en tres zonas de pesca frente a Chile, detectados mediante comparación de su fauna parasitaria y morfometría. *Revista Chilena de Historia Natural*, 65, 453-470.

Goicochea, C., Mostacero, J., & Moquillaza, P. (2012). Edad y crecimiento de *Ophichthus remiger* (Valenciennes) en el norte del mar peruano, 2004. Informe Instituto del Mar del Perú, 39(1-2), 9-17.

Jawad, L. A., Ambuali, A., Al-Mamry, J. M., & Al-Busaidi, H. K. (2014). Relationships between fish length and otolith length, width and weight of the Indian Mackerel *Rastrelliger kanagurta* (Cuvier, 1817) collected from the sea of Man, 69(2), 51-61.

Leguá, J., Plaza, G., Pérez, D., & Arkhipkin, A. (2013). Otolith shape analysis as a tool for identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. *J. Aquat. Res.*, 41(3), 479-489.

Lombarte, A., & Lleonart, J. (1993). Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*, 37(3), 297-306.

Menni, R., & Gosztonyi, A. (1982). Benthic and Semidemersal Fish associations in the Argentine Sea, 17(1), 1-29.

Pathak, B., Zahid, M., & Serajuddin, M. (2013). Length-Weight, Length-Length Relationship of the Spiny Eel, *Macrogathus pancalus* (Hamilton 1822) sampled from Ganges and Brahmaputra river basins. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(1), 170-182.

Paxton, J. R. (2000). Fish otoliths: do sizes correlate with taxonomic group, habitat and/or luminescence? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 355(1401), 1299-1303.

Popper, A., & Fay, R. (1993). Sound detection and processing by fish: Critical review and major research questions. *Brain Behav Evol*, 41, 14-38.

Rahman, M., Hossain, Y., Hossain, A., Ahamed, F., & Ohtomi, J. (2012). Sex Ratio, Length-Frequency Distributions and Morphometric Relationships of Length-Weight and Length-Weight for Spiny Eel, *Macrogathus aculeatus* in the Ganges River, NW Bangladesh, 7(4), 338-346.

Santana, H., Espino, E., Gallardo, M., & Garcia, A. (2008). Morphologic and Morphometric Analysis and Growth Rings Identification of Identification of otoliths: sagitta, asteriscus and lapillus of Yellowfish tuna *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788) (Pisces: Scombridae) in the Eastern Pacific. *International Journal of Zoological Research*, 4(3), 138-151.

Secor, D. H., & Dean, J. M. (1992). Comparison of otolith based back calculation methods to determine individual growth histories larval striped bass, *Morone saxatilis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49, 1439-1454.

Short, J., Christopher Gburski, & Kimura, D. (2006). Using otolith morphometrics to separate small walleye pollock *Theragra chalcogramma* from Arctic cod *Boreogadus* saida in mixed samples. *Alaska Fishery Research Bulletin*, 12(1), 147-152.

Valle, F. (2014). Relación de la longitud del otolito sagitta versus longitud y peso corporal en especies selectas de mojarras (Perciformes: Gerreidae). Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Vanina, A., & Martins, A. (2015). Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Vera, M. (2004). Distribución espacial y aspectos biológico-pesqueros de *Ophichthus remiger* "anguila común" en el litoral del departamento de Lambayeque (Mayo 2002 - Julio 2003). Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo."

Volpedo, A., & Echeverría, D. (2000). Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino.

Peces de importancia comercial. Editorial Dunken.
Volpedo, A., & Echeverría, D. (2003). Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentine. *Fisheries Research*, 60(2-3), 551-560

Variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla mediante la evaluación de índices de vegetación en la provincia de Manabí

Vegetation cover changes in the Machalilla National Park through vegetation indices assessment in Manabi province

Marcelo Álvarez^{1*} & Vinicio Macas²

¹Consultor Ambiental Individual, Asesorías en Gestión Ambiental, Cda. Guayacanes II.
Tlf. 0959178381, Guayaquil, Ecuador

²Docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

Recibido 3 de agosto 2018; recibido en forma revisada 26 de agosto 2018, aceptado 3 de octubre 2018
Disponible en línea 20 de diciembre 2018

Resumen

El sector agrícola y la expansión urbana son amenazas para los bosques en el mundo (FAO, 2016), entre ellos, el Parque Nacional Machalilla (PNM en adelante). Esta área protegida se encuentra bajo la Categoría II de conservación (UICN, 2017) y protege uno de los ecosistemas más susceptibles del Ecuador, el bosque seco tropical (MAE, 2007). El objetivo principal de la investigación fue determinar la variación de la cobertura vegetal del PNM en un periodo de 30 años, para lo cual se utilizaron tres imágenes satelitales Landsat, ortofotografías e índices de vegetación con la finalidad de cuantificar la tasa de cambio para los periodos 1986-2000, 2000-2016 y 1986-2016. Además, se realizó la clasificación supervisada de imagen del año 2016 para fijar los valores umbrales de los índices, la cual contó con identificación y verificación de coberturas en campo. De los resultados obtenidos, se destaca que hubo una tasa anual de pérdida de vegetación natural de 195,28 ha en el PNM durante los últimos 30 años y que la mayoría de los cambios sucedieron en el periodo 1986-2000 con pérdidas de 181,20 ha/año, siendo el bosque seco más susceptible a pérdida de vegetación natural. Este análisis geoespacial permitió generar la cartografía de susceptibilidad a variación de cobertura vegetal del PNM, demostrando que el 73,82% de la pérdida de vegetación natural se concentra en zonas de muy alta y alta susceptibilidad, las cuales se encuentran cercanas a poblados y vías como el Valle de Buena Vista de la Comuna de Agua Blanca.

Palabra claves: cobertura, vegetación, cambio, susceptibilidad.

Abstract

Nowadays, farming and urban expansion threaten natural forests on the earth (FAO, 2016), for instance, the Machalilla National Park (MNP henceforth). This protected area is considered as Management Category II (UICN, 2017) and protects one the most sensitive ecosystems in Ecuador, tropical dry forest (MAE, 2017). The primary research aim was about to determine the vegetation cover change of the MNP in the latest 30 years. It was employed three Landsat satellite images, orthophotos and vegetation indexes to quantify rate changes in three periods 1986-2000, 2000-2016 and 1986-2016. Moreover, it was performed supervised land classification on 2016 image to set vegetation index thresholds, this operation needed to verify land covers in the study area. As a result, there has been decreased 195,28 ha annually of natural vegetation cover in the MNP within last 30 years, and mostly these changes happened in the 1986-2000 period showing 181,20 ha loss a year. Hence, the dry forest was much more susceptible. This geospatial analysis allowed to make a vegetation-cover change susceptibility map of the PNM, which let to know 73,82% natural vegetation loss is gathered within very high and high susceptibility zones, which are nearby roadways and villages such as Buena Vista Valley, Agua Blanca Commune.

Keywords: cover, vegetation, change, susceptibility.

* Correspondencia del autor:
E-mail: marceloap39@gmail.com



Introducción

La deforestación y la degradación de bosques influyen en el balance natural de los ecosistemas y generan fragmentación de áreas. A escala global en el periodo 2000-2010 se cuantificó 7 millones de hectáreas de pérdida neta de bosques por causales como agricultura, expansión urbana y minería (FAO, 2016). El Ecuador no se aleja de la realidad mundial debido a que en el periodo 1990-2008 hubo una reducción significativa de bosques de aproximadamente 83.000 hectáreas por año (Ministerio del Ambiente, 2012).

En la actualidad el apoyo provisto por tecnologías de información y comunicación a las geociencias es de gran importancia, debido al aporte que realiza la teledetección en el análisis y resolución de problemas ambientales. La teledetección involucra componentes tales como plataformas, sensores remotos, imágenes satelitales, sistemas de información geográfica, entre otros; y representa un recurso valioso para proponer soluciones en el campo de las ciencias ambientales. Las aplicaciones son variadas y entre ellas se tiene determinación de impactos ambientales causados por desastres naturales, estudios relacionados al cambio climático en la cuantificación de gases de efecto invernadero y pérdida de cobertura vegetal.

Las características de la respuesta espectral de la vegetación en los sensores remotos es una de labores más interesantes de la teledetección (Chuvieco, 2010). Estas sensibles respuestas permiten determinar vigorosidad y estado fenológico de las plantas, además de cuantificar porcentajes de cobertura vegetal en una zona o área determinada. A lo largo del tiempo y a través de la investigación científica en este campo se han generado varios índices de vegetación que representan el soporte fundamental para distinguir formaciones vegetales.

La radiación solar es aprovechada por las plantas para realizar la función de la fotosíntesis, parte de la radiación es absorbida y otra es reflejada a la atmósfera y al suelo. En específico, los pigmentos de la hoja cumplen dicha función en el espectro visible de los colores verde y rojo (0,5 - 0,7 μm) en donde la mayor absorción sucede en el espectro del rojo y el porcentaje de absorción es de clorofila 65%, xantofila 29% y caroteno 6%. En contraposición, los pigmentos muestran mayor reflectividad y menor absorción en el espectro del infrarrojo cercano (0,76 - 0,90 μm) (Chuvieco, 2010).

Estas respuestas espectrales de la vegetación han sido materia de estudio para la determinación de la vigorosidad de las plantas y la generación de índices de vegetación.

Por lo tanto, en esta investigación se evalúa el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales de sensores remotos Landsat en el intervalo de tiempo de 30 años (1986-2016), para determinar la variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla (PNM), en la Provincia de Manabí. La ejecución del estudio tiene tres motivos, primero aplicar los índices de vegetación, segundo cuantificar la tasa de cambio de masas vegetales en el intervalo de tiempo establecido, y finalmente zonificar la susceptibilidad de la vegetación a variaciones en el PNM, con la finalidad de proveer de un instrumento técnico de apoyo para el manejo y gestión del área protegida.

Materiales y Métodos

Datos e insumos

Imágenes satelitales

A través de solicitud realizada en el portal web <http://earthexplorer.usgs.gov> del Servicio Geológico de Estado Unidos se obtuvieron las imágenes satelitales necesarias para la presente investigación. Fueron seleccionadas tres imágenes, las cuales comprenden un periodo de tiempo de 30 años, las mismas que presentan bajo porcentaje de nubosidad y corresponden a la estación seca, es decir aquellas capturadas en meses con escasos o nulos valores de precipitación en la zona de estudio. Por lo tanto, se tiene una imagen en un intervalo cercano a quince años 1986, 2000 y 2016. La razón por la cual se eligió el año 1986 como fecha de partida se debe a que es la mejor imagen disponible en el sitio web (bajo porcentaje de nubosidad) y es una fecha cercana a la creación del PNM.

Cada imagen cubre una extensión territorial aproximadamente de 34500 Km² (190 x 182 km), la cual está identificada en una columna (path) y una fila (row). Las bandas del espectro visible e infrarrojos tienen una resolución espacial de 30 metros y la banda del pancromático es de 15 metros. A continuación, en la Tabla 1 se detalla la fecha, el satélite de origen, resolución espacial, cobertura de nubes, época y path/row de los sensores Landsat.

Tabla 1. Datos importantes de las imágenes satelitales

SENSOR REMOTO	WRS PATH/ROW	FECHA	ÉPOCA	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)	NUBOSIDAD (%)
L5 TM	011/061	SEP/06/1986	SECA	30	20
L7 ETM+	011/061	NOV/23/2000	SECA	30	2
L8 OLI/TIRS	011/061	NOV/27/2016	SECA	30	9

Ortofotografías del PNM

Además de las imágenes satelitales se recopilieron ortofotografías del área de estudio. En efecto se procedió a través de solicitudes en el portal web SINAT <http://servicios.sigtierras.gob.ec> del Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), servicio que es provisto por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador. Estos datos son necesarios con la finalidad de corroborar la información obtenida en la clasificación de imágenes. Estas imágenes tienen resolución espacial de 0,4 metros, 4 bandas disponibles de resolución espectral y fueron adquiridas entre 2010 y 2011.

Softwares y equipos

En lo que respecta a los programas informáticos para el desarrollo de lo propuesto se utilizaron tres softwares específicos. Para tareas de pre procesamiento como correcciones atmosférica y geométrica y clasificación de imágenes se usó el software ENVI 5.3, por el motivo que es un programa diseñado para el procesamiento digital de imágenes. Para el cálculo de índices de vegetación se usó el software libre QuantunGis 2.18. Finalmente, para la elaboración de cartografía resultante se usó el programa ArcGIS 10.3.

Para el levantamiento de información preliminar y de validación en campo se utilizó un dispositivo GPS navegador Garmin eTrex 20, el cual es de alta precisión y tiene muy buena recepción de señal. Además, se hizo uso de una cámara fotográfica de alta resolución de 20 megapíxeles para tomar fotografías durante las salidas de campo en el Parque Nacional Machalilla.

Pre procesamiento de datos

Corrección geométrica

El portal web EarthExplorer pone a disposición un conjunto de imágenes satelitales corregidas geométricamente y topográficamente con alto nivel de precisión (USGS, 2017), conocido como Landsat Collection 1 Level-1, esto garantiza la superposición pixel a pixel de las imágenes adquiridas y evita errores que puedan ser causados por una georreferenciación incorrecta. Por esta razón no fue necesario realizar este tipo de corrección a las imágenes a través de los programas informáticos descritos anteriormente. Adicionalmente, Chuvieco (2010) menciona que es fundamental realizar el ajuste geométrico previo a la clasificación de imágenes por la razón de evitar errores mayores al 10% al momento de identificar cambios entre las fechas seleccionadas del área de estudio.

Corrección atmosférica

Este tipo de corrección está enfocada a convertir los niveles digitales a valores de radiancia y luego a reflectancia, es decir en unidades físicas $Watt/m^2 \cdot sr \cdot nm$. Para lo cual se usa las herramientas del programa informático ENVI 5.3. En primer lugar,

a través del módulo Radiometric Calibration se convierten los valores digitales a valores de radiancia. Luego se usa FLAASH Atmospheric Correction para obtener valores en reflectancia. Finalmente, estos últimos valores son escalados a valores de 0 y 1 a través de una expresión matemática utilizando la herramienta Band Math.

Levantamiento de información

Durante los días 19 y 20 de agosto de 2017 se hizo la visita de campo en el área de estudio, la cual permitió fotografiar los paisajes del PNM y registrar mediante el GPS las coordenadas en coberturas identificables en el área de estudio. En total se registraron 21 puntos que corresponden a 10 coberturas.

El criterio técnico utilizado para la selección de coberturas presentes en el Parque Nacional Machalilla en primera instancia está basado en el Protocolo Metodológico para la Elaboración del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, elaborado por el MAE y MAGAP, el cual sugiere el uso de leyenda temática adaptada para el país en función de lo sugerido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Debido al uso de imágenes satelitales con resolución espacial de 30 metros, la leyenda temática seleccionada corresponde a niveles de detalle de Nivel I y Nivel II.

Clasificación de imágenes

La clasificación de imágenes se divide en dos fases. En primer lugar, corresponde a la asignación de áreas de entrenamiento, también conocido como ROIs, que no es más que la agrupación de píxeles dentro de una misma clase en función de sus características espectrales. Y el segundo paso es la creación de áreas de verificación, las cuales representan a aquellos píxeles que son validados en campo y pertenecen a esa misma clase. Por lo tanto, este segundo paso es fundamental para proveer a la clasificación objetividad y confiabilidad, que paralelamente se verifica a través de estadísticos como las matrices de confusión y los resultados del coeficiente Kappa. Luego de que la clasificación es validada y aceptada se procede a aplicar filtros modales con la finalidad de dar un mejoramiento visual a la imagen o nuevo ráster resultante.

Durante la fase de asignación de áreas de entrenamiento se hizo uso de la combinación de bandas de la imagen multispectral del año 2016 (Satélite Landsat 8), con la finalidad de distinguir visualmente los píxeles y asignarlos a la clase que le corresponde. Ciertas combinaciones permiten distinguir favorablemente píxeles que representan vegetación como la combinación RGB de las bandas 6, 5 y 4. Así mismo otras distinguen suelo desnudo y áreas urbanizadas como las combinaciones 5-6-4 y 7-6-4, respectivamente.

Clases y áreas de entrenamiento

A través de los criterios citados anteriormente y la visita de campo previa se han definido diez clases

del área de estudio. Estas coberturas corresponden a Bosque Húmedo, Bosque Seco, Matorral, Matorral seco, Zona Agropecuaria, Zona Antrópica, Suelo, Agua, Nubes y Sombras. A partir de estas clases son definidas las áreas de entrenamiento mediante el análisis visual de combinación de bandas y umbrales de índices de vegetación.

Análisis de separabilidad espectral

Luego de tener definidas las clases y seleccionados los ROIs de entrenamiento se procede a ejecutar la herramienta Compute ROI Separability del software ENVI 5.3, con la finalidad de conocer preliminarmente que las áreas de entrenamiento han sido bien seleccionadas. Una buena separabilidad espectral entre dos clases debe ser mayor a 1.60, sabiendo que a aquella que se acerque a 2.0 es excelente. Este paso preliminar a la validación de la clasificación permite verificar si las firmas espectrales de las clases se separan bien o por el contrario se confunden demasiado, lo cual permite tomar decisiones para realizar ajustes en las áreas de entrenamiento o fusionar clases.

Clasificador de Máxima Verosimilitud

Como se indicó en el capítulo anterior el clasificador de máxima verosimilitud es el más usado para la clasificación de imágenes por ser un método más confiable y generar resultados óptimos. El módulo de clasificación supervisada de ENVI contiene la herramienta Maximum Likelihood Classification, la cual toma como referencia las áreas de entrenamiento para la elaboración del ráster clasificado.

Áreas de verificación y validación de la clasificación

Teniendo como base el ráster resultante de la clasificación realizada a la imagen del año 2016, se procede a levantar información en campo para la validación de clasificación a través de la selección de áreas de verificación. Durante el 11 y 12 de noviembre se realizó la segunda visita en el área de estudio, en la cual se establecieron 4 puntos de control por cada clase. Luego en gabinete se valida la clasificación haciendo uso de la matriz de confusión, para lo cual se ejecuta la herramienta Confusion Matrix Using Grand Truth ROIs. Esta herramienta elabora la matriz para el ráster clasificado que involucra los píxeles de las áreas de entrenamiento y los píxeles de áreas de verificación, que a su vez muestra la precisión del usuario y del productor, errores de omisión y comisión, la precisión global de la clasificación y el coeficiente Kappa resultante (Tabla 2). El coeficiente Kappa determina el nivel de concordancia entre los píxeles de entrenamiento y los píxeles de validación, esta

Tabla 2. Interpretación cualitativa de resultados del Coeficiente Kappa

<i>Rango</i>	<i>Interpretación</i>
Débil	Menor a 0.40
Moderada	0.41 - 0.60
Buena	0.61 - 0.80
Muy buena	Mayor a 0.81

Fuente: (Landis & Koch, 1977)

fuerza de concordancia tiene rangos de interpretación cualitativa.

Cálculo de Índices de Vegetación

Para efectos de estudio se calculan dos índices de vegetación el Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Mejorada (EVI). En consecuencia, las tres imágenes pre tratadas y delimitadas por el polígono del PNM son sometidas al cálculo de los índices a través del módulo Calculadora Ráster del software QGis con sus respectivas ecuaciones. Del resultado de esta operación se obtienen dos rásters de índices de vegetación por cada imagen.

De los resultados obtenido de la operación aritmética se obtienen rásters que presentan valores entre -1 y +1, los cuales deben ser reclasificados en función de los respectivos umbrales para cada índice de vegetación. En el caso del NDVI los valores umbrales de vegetación según Ahmed & Akter (2017) típicamente se sitúan desde 0.2 a 1, cobertura vegetal densa y en buen estado se localiza por encima de 0.6, valores inferiores a 0 corresponden a cuerpos de agua y valores entre 0 a 0.09-0.1 se relacionan a píxeles de nubes y sombras.

Kong (2014) sugiere los siguientes valores umbrales para el índice de vegetación EVI: píxeles menores a 0.1 se considera cuerpos de agua, el umbral de 0.1001 a 0.3 es suelo desnudo, píxeles que se encuentre entre 0.3001 a 0.6 corresponden a cobertura herbácea y finalmente píxeles con valores del índice mayor 0.6001 están relacionados a cobertura boscosa.

Los valores umbrales de cada índice de vegetación fueron fijados en función de la imagen clasificada del año 2016 utilizando el método de máximo verosimilitud. Este paso fue de gran ayuda para reclasificar las imágenes correspondientes a los años 1986 y 2000 utilizando los valores umbrales de los índices adaptados al área de estudio.

Validación mediante Reglas Topológicas

En el post procesamiento se debe convertir los rásters a formato vectorial, es recomendable realizar validaciones topológicas para evitar errores geométricos de superposición y/o vacíos entre polígonos. La validación topológica requiere la creación de una, en la cual se van a importar las capas vectoriales convertidas correspondiente a los tres años de análisis. A continuación, se crean dos reglas topológicas por capa vectorial con la finalidad de verificar errores en los polígonos y de corregir dichos errores en cada capa vectorial; las reglas topológicas seleccionadas son que “no exista superposición de polígonos” y que “no existan espacios vacíos entre ellos”.

Obtención de la tasa de cambio

Matriz de Transición

En la obtención de la tasa de cambio se requiere generar una matriz de transición para conocer cómo

han sucedidos los cambios entre el intervalo 2016-2000, 2000-1986 y 2016-1986, los cambios pueden ser de índole positivo y negativo. Los rásters clasificados se convierten a formato vectorial para poder realizar el análisis de superposición de polígonos.

Gradiente de cambio

En función de los cambios detectados de las diferentes fechas seleccionadas para estudio se procede a determinar el gradiente de cambio entre dos fechas o áreas. Para lo cual se emplea la ecuación de gradiente, que se expresa en porcentajes, el cual podría contribuir a dar resultados positivos y negativos de cambio.

$$\text{Gradiente de cambio} = \frac{A_2 - A_1}{A_1} * 100$$

Elaboración de cartografía de Uso de Suelo

El diseño de mapas resultantes se elabora en el programa informático ArcGIS 10.3 por su versatilidad de herramientas de geoprocésamiento y múltiples opciones para la confección y diseño de cartografía temática. Cada mapa resultante incluye las coberturas o clases obtenidas, la imagen satelital del año correspondiente y diferentes capas vectoriales de líneas, puntos y polígonos del Sistema Nacional de Información. La escala gráfica de trabajo máxima considerada está en función de la unidad mínima cartografiable (Knight & Lunetta, 2003), es decir el tamaño del píxel en formato Ráster que según la resolución espacial para los satélites Landsat es 30 metros. Para lo cual se usa la siguiente ecuación escala de mapa.

$$\text{Escala de mapa} = \text{Resolución del Raster (m)} * 1000 * 2$$

La escala gráfica máxima considerada para la elaboración de mapas es de 1:60.000, es decir 1 cm en el papel representa 600 m en el terreno. Por otro lado, la escala de impresión de los mapas resultantes se ajusta al tamaño de papel A4 que de manera conveniente es 1:150.000.

Elaboración de cartografía temática Susceptibilidad a Variación de la Cobertura Vegetal

El mapa resultante de la presente investigación es originado de acuerdo a la susceptibilidad de la cobertura vegetal de modificar su composición y superficie con relación a la distancia próxima de zonas pobladas y vías de transporte terrestre. Estas superficies son obtenidas mediante análisis de ponderación multicriterio y el cálculo de distancias mediante la herramienta distancia euclidiana. El resultado obtenido se representan un único mapa zonificado de susceptibilidad que contendrán los cambios en el uso de suelo que han sucedido por actividad antrópica a lo largo del periodo de 30 años en el Parque Nacional Machalilla. Las áreas para la representación de esta cartografía llevan una leyenda con categorías de mayor a menor susceptibilidad, estas son “muy alta”, “alta”, “media”, “baja” y “nula”.

Resultados

Luego de haber realizado la clasificación de imágenes a través del método de máxima verosimilitud, se procede a validar estadísticamente los resultados, lo cual corrobora la coincidencia de píxeles de áreas de entrenamiento y de verificación. En esta clasificación se obtuvo un total de 11084 píxeles, de los cuales 10798 fueron bien clasificados en sus clases respectivas dando una precisión global de clasificación de 97,42 % (Tabla 3). Según lo que se evidencian en las tablas 3 y 4 las clases que mejor se clasificaron fueron Agua, Bosque Húmedo, Sombras y Nubes; por el contrario, existió menor separabilidad espectral entre las clases Suelo, Zona Antrópica y Zona Agropecuaria por lo cual la precisión en estas clases disminuyó.

Matriz de confusión

Errores, precisión y Coeficiente Kappa

En materia de clasificación de imágenes es también importante considerar los errores de omisión y comisión, y la precisión del usuario y la del productor (Tabla 5).

Tabla 3. Matriz de Confusión de Clasificación Supervisada de Máxima Verosimilitud para el Año 2016 (píxeles)

CLASE	Píxeles validados										
	Agua	Suelo	Z. Antrópica	Z. Agropecuaria	Matorral Seco	Matorral	Bosque Seco	Bosque Húmedo	Nubes	Sombras	TOTAL
Agua	7996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7996
Suelo	0	71	53	0	0	0	0	0	0	0	124
Z. Antrópica	0	15	168	5	5	0	0	0	0	0	193
Z. Agropecuaria	0	12	24	76	1	0	0	0	0	0	113
Matorral Seco	0	15	10	2	221	52	0	0	0	0	300
Matorral	0	0	0	0	0	174	15	0	0	0	189
Bosque Seco	0	2	13	38	0	22	1121	0	0	0	1196
Bosque Húmedo	0	0	1	0	0	0	1	927	0	0	929
Nubes	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	19
Sombras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25
TOTAL	7996	115	269	121	227	248	1137	927	19	25	10798

Tabla 4. Matriz de Confusión de Clasificación Supervisada de Máxima Verosimilitud para el Año 2016 (porcentaje)

CLASE	Píxeles validados (Porcentaje)										
	Agua	Suelo	Z. Antrópica	Z. Agropecuaria	Matorral Seco	Matorral	Bosque Seco	Bosque Húmedo	Nubes	Sombras	
Agua	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Suelo	0,00	61,74	19,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Z. Antrópica	0,00	13,04	62,45	4,13	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Z. Agropecuaria	0,00	10,43	8,92	62,81	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Matorral Seco	0,00	13,04	3,72	1,65	97,36	20,97	0,00	0,00	0,00	0,00	
Matorral	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,16	1,32	0,00	0,00	0,00	
Bosque Seco	0,00	1,74	4,83	31,40	0,00	8,87	98,59	0,00	0,00	0,00	
Bosque Húmedo	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,09	100,00	0,00	0,00	
Nubes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	
Sombras	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

La imagen clasificada correspondiente al año 2016 indica que mayores errores de comisión sucedieron en las clases Suelo, Zona Antrópica y Zona Agropecuaria con alrededor del 38% de sus píxeles (Tabla 6). Mientras que errores de omisión presentan menor porcentaje de píxeles para Zona Antrópica y Zona Agropecuaria, 12,95 % y 32,74% respectivamente. La precisión del usuario y del productor es satisfactoria debido a que demuestra que los píxeles se asignaron en su clase correspondiente cerca al 60% en todas sus clases (Tabla 7). Clases como Bosque, Húmedo, Bosque Seco, Matorral, Matorral Seco y Agua presentaron valores de precisión por encima del 70%. Por otra parte, el coeficiente Kappa obtenido en la presente investigación es satisfactorio 0.94, lo cual indican un alto grado de concordancia entre los ROIs

Valor obtenido del Coeficiente Kappa

$$K = \frac{p_c - p_a}{1 - p_a} = 0,94$$

de entrenamiento y ROIs de verificación.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI)

Luego de haber aplicado la relación aritmética entre las bandas del Rojo y el Infrarrojo cercano de las

imágenes multispectrales de los satélites Landsat, dio como resultado el índice de vegetación para el área de estudio. Los cuales fueron tomado como base para reclasificar la imagen de los años 2000 y 1986. Los valores varían entre imagen e imagen, el valor mínimo de -0,43 corresponde a los rásters de 2016 y 1986, mientras que el máximo 1,00 corresponde al ráster del año 2000. Se agregó una cuarta imagen que incluye sus respectivos niveles digitales de NDVI, la cual corresponde al año 2008 y presenta valores mínimos de -0,60 y máximos de 0,87.

La imagen que corresponde al año 2008 fue añadida para comparar de manera visual los cambios ocurridos en intervalos de 8 a 16 años de la vegetación natural en sectores como Río de Plátano (Figura 1) y Comuna de Agua Blanca (Figura 2). En estas figuras se visualiza niveles digitales de NDVI en escala de grises, los tonos más claros indican alto índice de vegetación que se asocian a pigmentación y abundancia de especies vegetales, mientras que tonos oscuros indican bajo índice, lo cual está asociado a vegetación en senescencia o ausencia de cobertura vegetal.

Coberturas de Vegetación y Uso de Suelo

A través de la clasificación de imagen y reclasificación de índices de vegetación se obtuvieron las capas vectoriales para cada año seleccionado de esta

Tabla 5. Precisión global de la clasificación

CLASE	Píxeles clasificados	Píxeles validados	Porcentaje
Agua	7996	7996	100,00
Suelo	115	71	61,74
Zona Antrópica	269	168	62,45
Zona Agropecuaria	121	76	62,81
Matorral Seco	227	221	97,36
Matorral	248	174	70,16
Bosque Seco	1137	1121	98,59
Bosque Húmedo	927	927	100,00
Nubes	19	19	100,00
Sombras	25	25	100,00
TOTAL	11084	10798	97,42

Tabla 6. Errores resultantes de la clasificación para el año 2016

CLASE	Errores			
	Comisión	Porcentaje	Omisión	Porcentaje
Agua	0/7996	0,00	0/7996	0,00
Suelo	44/115	38,26	53/124	42,74
Zona Antrópica	101/269	37,55	25/193	12,95
Zona Agropecuaria	45/121	37,19	37/113	32,74
Matorral Seco	6/227	2,64	79/300	26,33
Matorral	74/248	29,84	15/189	7,94
Bosque Seco	16/1137	1,41	75/1196	6,27
Bosque Húmedo	0/927	0,00	2/929	0,22
Nubes	0/19	0,00	0/19	0,00
Sombras	0/25	0,00	0/25	0,00

Tabla 7. Precisión obtenida de la clasificación para el año 2016

CLASE	Precisión			
	Productor	Porcentaje	Usuario	Porcentaje
Agua	7996/7996	100,00	7996/7996	100,00
Suelo	71/124	57,26	71/115	61,74
Zona Antrópica	168/193	87,05	168/269	62,45
Zona Agropecuaria	76/113	67,26	76/121	62,81
Matorral Seco	221/300	73,67	221/227	97,36
Matorral	174/189	92,06	174/248	70,16
Bosque Seco	1121/1196	93,73	1121/1137	98,59
Bosque Húmedo	927/929	99,78	927/927	100,00
Nubes	19/19	100,00	19/19	100,00
Sombras	25/25	100,00	25/25	100,00

Tabla 8. Superficies por cada clase para los años 1986, 2000, 2016 del PNM

Clase	1986		2000		2016	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Agua	1105,59	2,65	1130,63	2,71	1087,45	2,60
Suelo	153,54	0,37	146,94	0,35	184,73	0,44
Zona Antrópica	491,32	1,18	166,64	0,40	193,89	0,46
Zona Agropecuaria	1323,77	3,17	509,25	1,22	621,63	1,49
Matorral Seco	4928,04	11,80	2474,67	5,93	4065,28	9,74
Matorral	14859,19	35,59	11163,53	26,74	18151,42	43,47
Bosque Seco	10643,06	25,49	15475,35	37,06	7930,54	18,99
Bosque Húmedo	7857,84	18,82	10295,34	24,66	9127,41	21,86
No considerado	391,65	0,94	391,65	0,94	391,65	0,94
TOTAL	41754,00	100,00	41754,00	100,00	41754,00	100,00

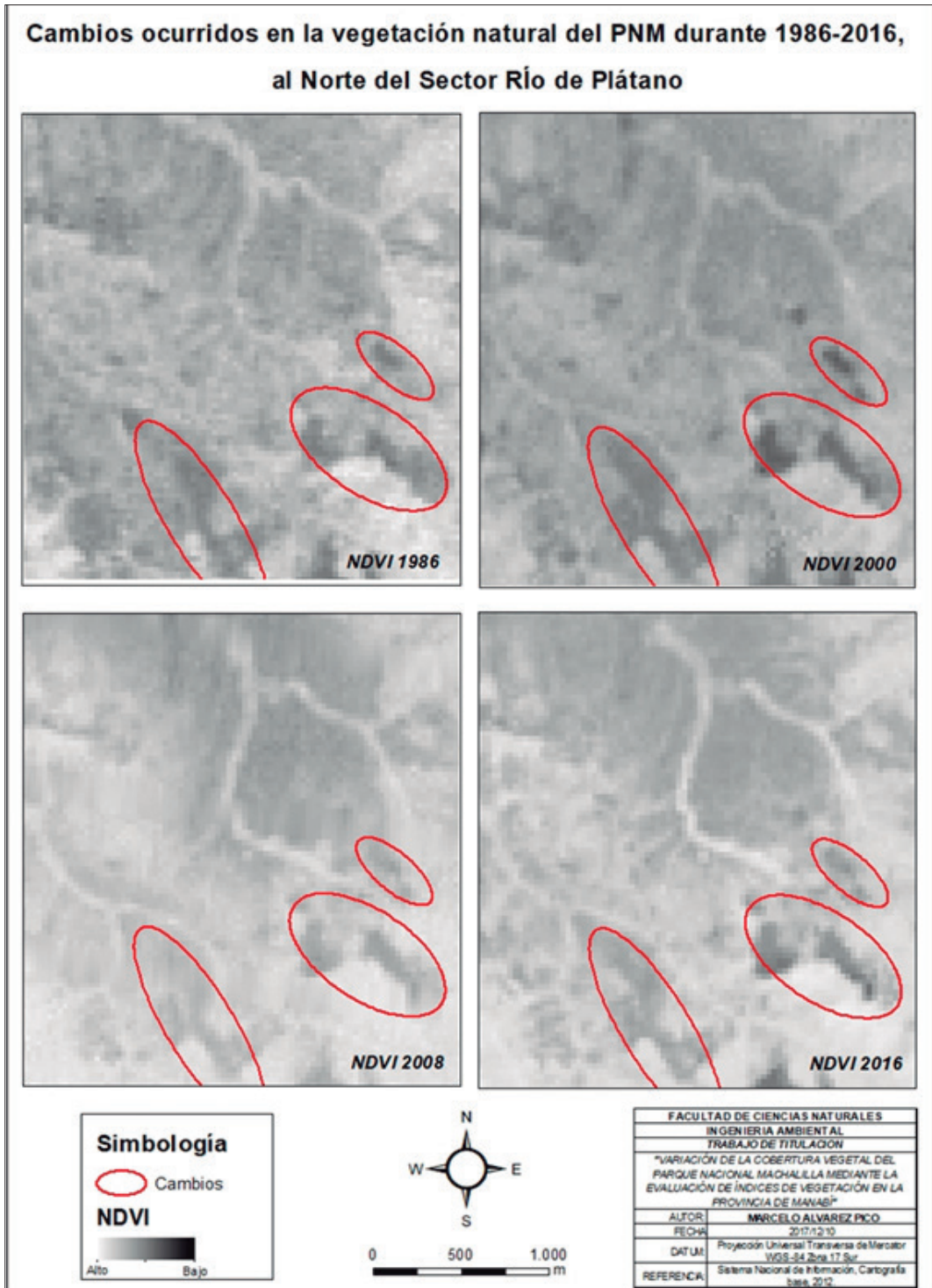


Figura 1. Cambios suscitados en la vegetación natural del PNM, al Norte de Río de Plátano.

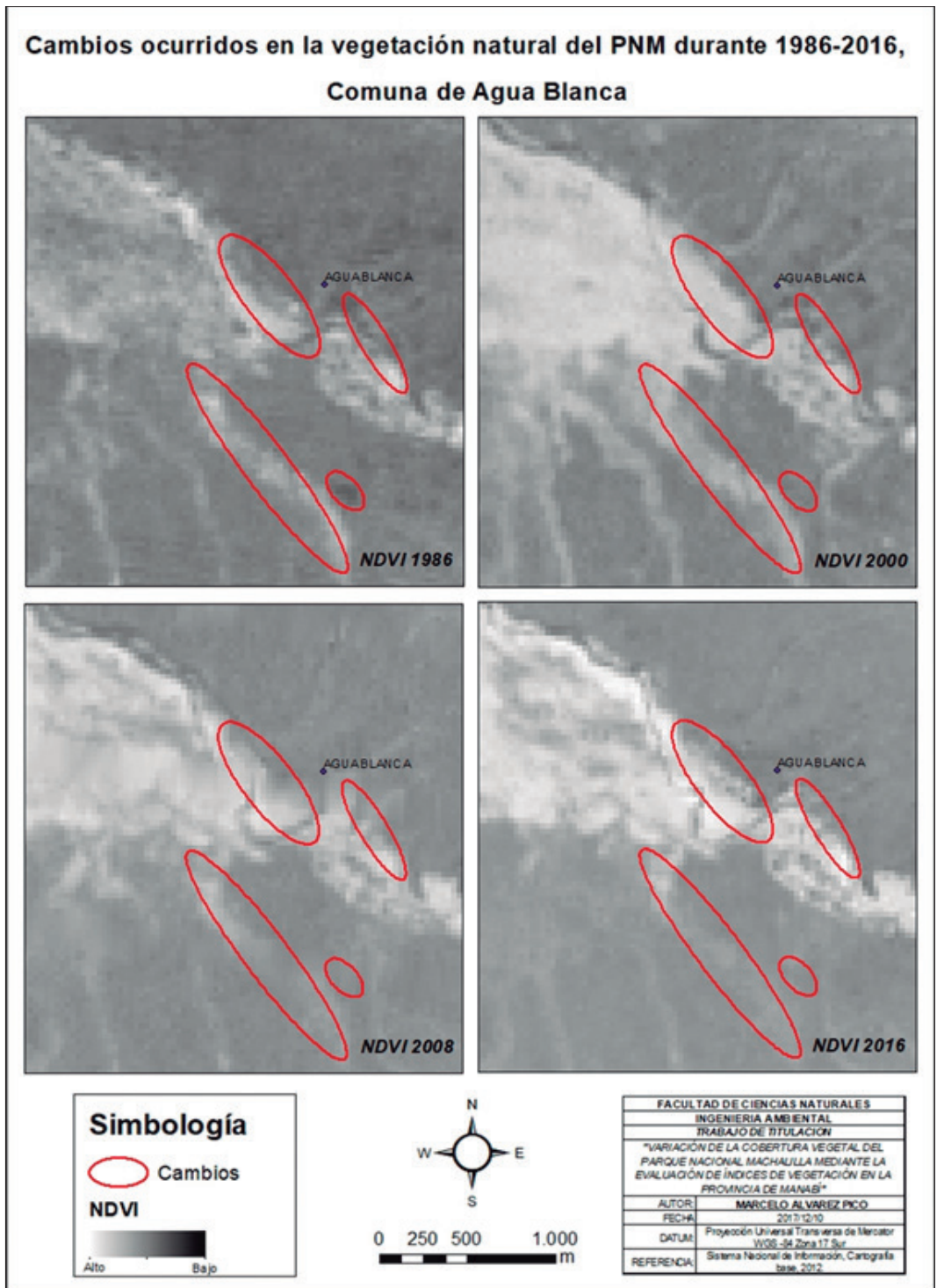


Figura 2. Cambios suscitados en la vegetación natural del PNM, Comuna de Agua Blanca.

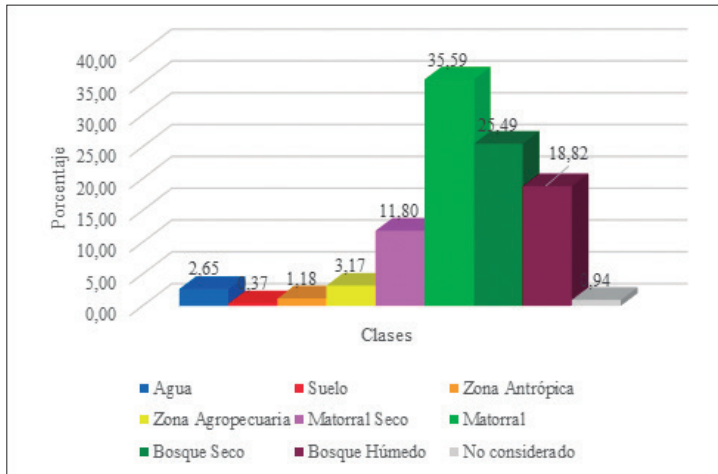


Figura 3. Coberturas del PNM para el año 1986.

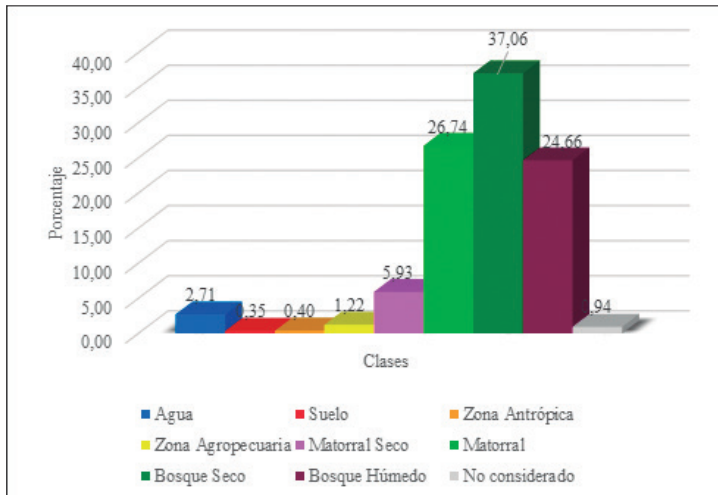


Figura 4. Coberturas del PNM para el año 2000.

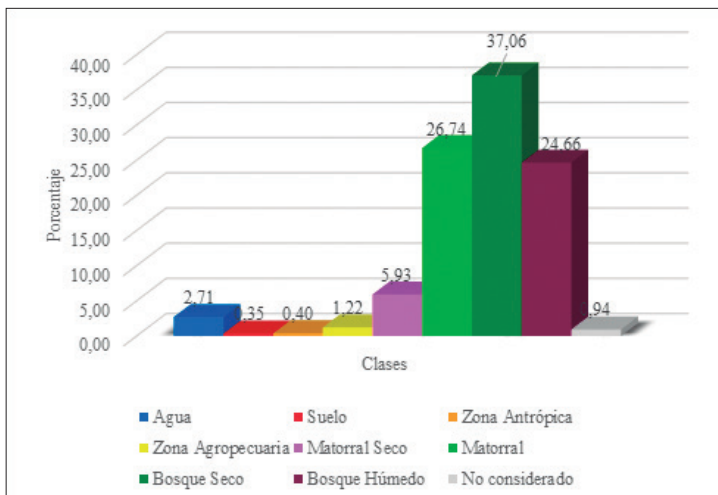


Figura 5. Coberturas del PNM para el año 2016.

presente investigación. La Tabla 8 y 9 detallan la extensión territorial y sus porcentajes de las coberturas y la cartografía resultante de cada año.

Del año 1986 (Figura 3), las clases con mayor porcentaje de superficie del PNM corresponden a Matorral y Bosque Seco con 35,59% y 25,49% respectivamente. Mientras que las clases de Suelo, Zona Antrópica y Zona Agropecuaria (zonas intervenidas) juntas suman cerca del 4,71%, que representan 11968 ha. El Bosque Húmedo para el año en mención se extendía alrededor de 7857 ha, es decir el 18,8% del área protegida, la mayoría situado sobre los 400 msnm.

Del año 2000, los resultados obtenidos guardan concordancia con lo analizado en las imágenes satelitales del programa Landsat, lo cual se evidencia en la figura 4, que las coberturas de Bosque Seco y Bosque Húmedo ganaron terreno situándose en 37,06% y 24,66%, respectivamente. Mientras que aquellas coberturas de zonas intervenidas juntas decrecieron 2,74 hectáreas del total del área del PNM, lo que representa 1144 ha, de las cuales solo 509,25 ha corresponden a zonas agropecuarias.

Particularmente para la fecha más reciente, 2016 (Figura 5), se hallaron datos interesantes. El Bosque Seco muestra menor superficie de terreno con alrededor del 18,9% del área, el Bosque Húmedo se situó sobre un 21,8%, mientras que coberturas como el Matorral Seco y Matorral aumentó significativamente sus coberturas mostrando 9,7% y 43,4%, respectivamente.

Por su parte, las coberturas definidas como zonas intervenidas aumentaron su superficie ligeramente desde el 2000, resultando ser juntas cerca de 2,4%, lo que representa 1000 ha aproximadamente que dejaron de ser vegetación natural. Se evidencia que los cambios han sucedido paulatinamente producto de asentamientos humanos y el avance de la frontera agrícola al interior del PNM.

Mediante el uso de gráficos de línea de tiempo, se puede evidenciar las variaciones que han sucedidos de las coberturas del PNM durante los últimos 30 años. En la figura 8 se aprecia que la tendencia de las coberturas vegetación natural es diferente. Las clases boscosas se comparten similar (Bosque Seco y Bosque Húmedo), mientras que las coberturas arbustivas tienen comportamiento parecido entre ellas y distintas del bosque.

De la figura 9, se aprecia que para las tres clases suelo, zona antrópica y zona agropecuaria existe un punto de inflexión en el año 2000, es decir que estas coberturas decrecieron en el tiempo durante 14 años, y luego de aquello se han mantenido hasta la actualidad, a excepción de las zonas agropecuarias que tuvieron un ligero incremento en el 2016.

Gradiente de Cambio

Para el intervalo de 1986-2000, la cobertura que más presentó variaciones negativas fueron Matorral

y Matorral Seco. Mientras las que presentaron variaciones de ganancia fueron Bosque Seco y Bosque Húmedo. Se evidencia que aquellas coberturas de origen antropogénico decrecieron 81,8 ha por año para este periodo.

En el intervalo 2000-2016, decrecieron las coberturas boscosas, el decrecimiento más significativo sucedió en el Bosque Seco alrededor de 18%. Es notorio que según los datos señalados en la Tabla 9 hubo un incremento de coberturas antrópicas y agropecuaria, generando alrededor de 11 ha/año durante los últimos 16 años.

En el intervalo 1986-2016, el periodo más extenso de este estudio, se evidencia que las ganancias y pérdidas se compensan entre los periodos 1986-2000 y 2000-2016. Coincidentemente, existe un retroceso de la frontera agrícola de alrededor de 23,4 ha/año y 9,9 ha/año para la clase zona antrópica. Es importante mencionar que, a pesar de las deforestaciones ocurridas en el pasado las tasas de cambio favorable para la vegetación natural son mayor que aquellas desfavorables.

Matriz de Transición

A través de uso de matrices de transición se puede evidenciar el cambio específico sucedido en el tiempo y determinar la superficie de cambio entre coberturas, lo cual está relacionado con las tasas de cambio.

Susceptibilidad a Variación de la Cobertura Vegetal

De acuerdo a la transición entre 1986 y 2016, para la cobertura Matorral Seco, se evidencia que el cambio más significativo fue que 144,75 ha se convirtieron en zona agropecuaria. 171,25 hectáreas dejaron de ser matorral y pasaron a ser zona de cultivos. El bosque seco también cambió, pero en menor proporción, 22,68 ha se convirtieron en zona antrópica y 23.33 ha a zona agropecuaria.

La cobertura que más conservó su superficie fue el Bosque Húmedo (91,60 %). A través de este análisis se indica que en total se perdieron 505,1 ha de vegetación natural durante los últimos 30 años en el PNM.

Además, se aprecia que 3768 ha dejaron de ser cobertura boscosa y ahora representan cobertura arbustiva, la mayoría se ubican en zonas de alta y muy alta susceptibilidad a variación de la cobertura vegetal.

Finalmente, a través de las técnicas de teledetección utilizadas y los análisis realizados hasta ahora se procede a generar la cartografía de susceptibilidad a variación de la cobertura vegetal del PNM.

Durante los últimos 30 años hubo una pérdida neta de cobertura vegetal de 505,1 ha, las cuales se convirtieron en zonas destinadas para cultivo y ganado, zonas de asentamientos humanos y aquellas áreas que se deforestaron pasando a ser suelo desprotegido

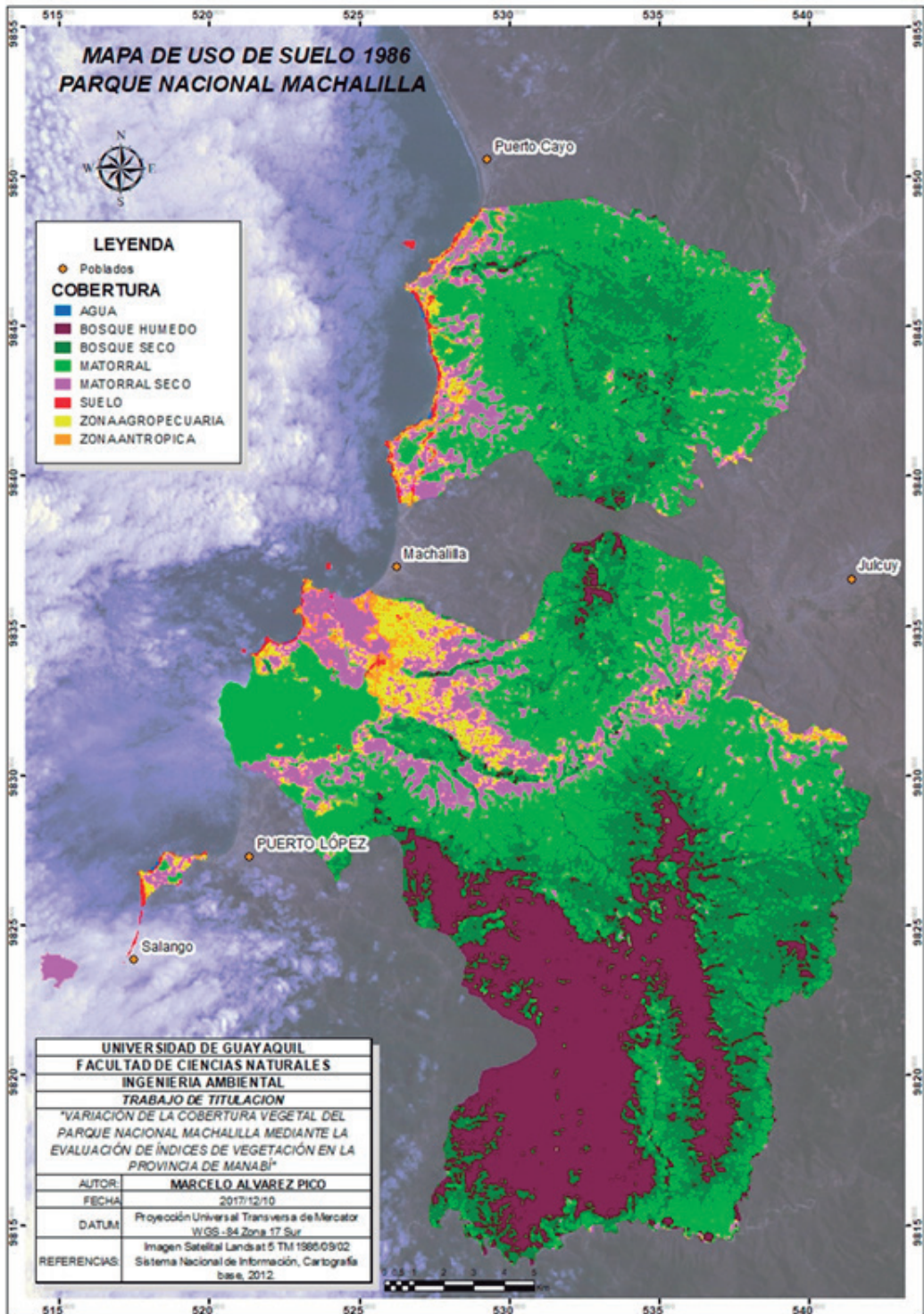


Figura 6. Clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo 1986 del PNM a partir del NDVI.

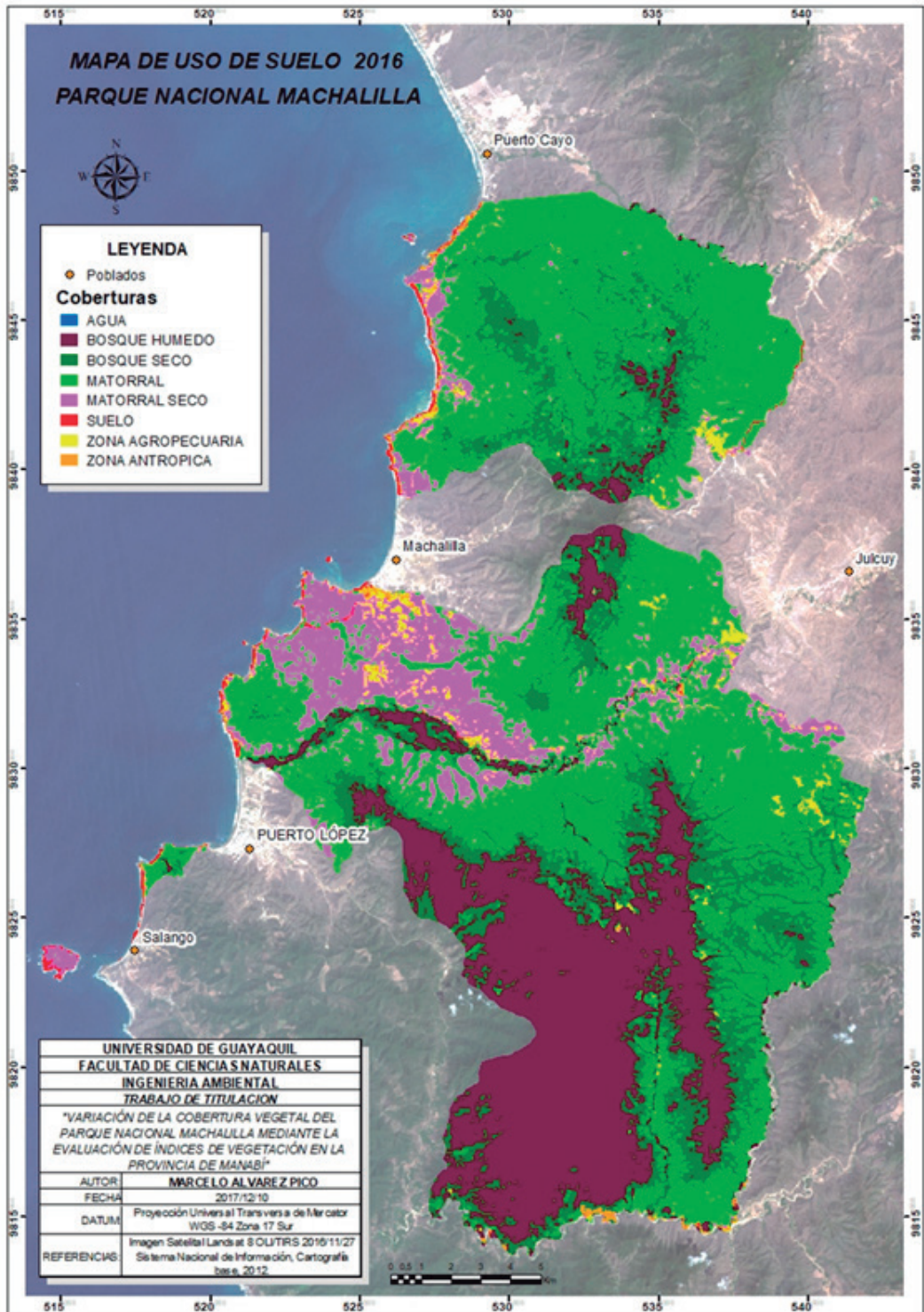


Figura 7. Clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo 2000 del PNM a partir del NDVI.

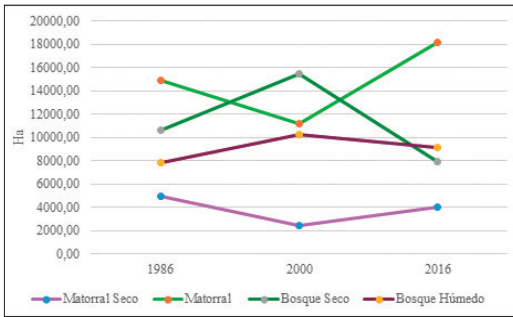


Figura 8. Línea de tiempo para las clases correspondiente a vegetación natural del PNM.

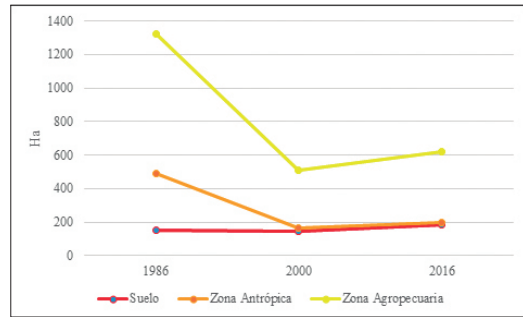


Figura 9. Línea de tiempo para las clases correspondiente Suelo, Zona Antrópica y Zona Agropecuaria del PNM.

Tabla 9. Tasas de cambios para los intervalos 1986-2000, 2000-2016 y 1986-2016

Cobertura	1986-2000			2000-2016			1986-2016		
	Área de cambio (ha)	Porcentaje	Tasa anual (ha)	Área de cambio (ha)	Porcentaje	Tasa anual (ha)	Área de cambio (ha)	Porcentaje	Tasa anual (ha)
Suelo	-6,60	-0,02	-0,47	37,79	0,09	2,36	31,19	0,07	1,04
Z. Antrópica	-324,68	-0,78	-23,19	27,25	0,07	1,70	-297,43	-0,71	-9,91
Z. Agropecuaria	-814,52	-1,95	-58,18	112,38	0,27	7,02	-702,14	-1,68	-23,40
Matorral Seco	-2453,37	-5,88	-175,24	1590,61	3,81	99,41	-862,76	-2,07	-28,76
Matorral	-3695,66	-8,85	-263,98	6987,89	16,74	436,74	3292,23	7,88	109,74
Bosque Seco	4832,29	11,57	345,16	-7544,81	-18,07	-471,55	-2712,52	-6,50	-90,42
Bosque Húmedo	2437,50	5,84	174,11	-1167,93	-2,80	-73,00	1269,57	3,04	42,32

Tabla 10. Tasa anual de pérdida o degradación de cobertura vegetal por intervalo de tiempo

Uso de Suelo	1986-2000	2000-2016	1986-2016
	Tasa anual (ha)	Tasa anual (ha)	Tasa anual (ha)
Matorral Seco	-14,11	-16,33	-6,98
Matorral	-55,17	-54,20	-41,09
Bosque Seco	-73,45	-30,75	-125,55
Bosque Húmedo	-38,47	-51,55	-21,66
TOTAL	-181,20	-152,83	-195,28

de material vegetal. De este total de hectáreas el 73,82% se encuentran en zonas de alta y muy alta susceptibilidad a variación de cobertura vegetal.

Las figuras 6 y 7 corresponden a los mapas de cobertura y uso del suelo del Parque Nacional Machalilla para los años 1986 y 2016 respectivamente, los cuales están representados en la Tabla 10.

La figura 10 muestra las categorías de susceptibilidad a la variación de la cobertura vegetal en el PNM, la cual está asociada a la proximidad a vías de acceso y zonas pobladas.

Discusión

En vista de los resultados encontrados en la presente investigación se valida la hipótesis planteada y se asevera que sí ha existido cambios y han acontecido reducciones en la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla durante el periodo 1986-2016, estos cambios se han manifestado de manera positiva, indicando ganancia, y de manera negativa indicando degradación o pérdida de cobertura vegetal.

A través del uso de índices de vegetación se identificó ocho clases presentes en el PNM, de las cuales la más

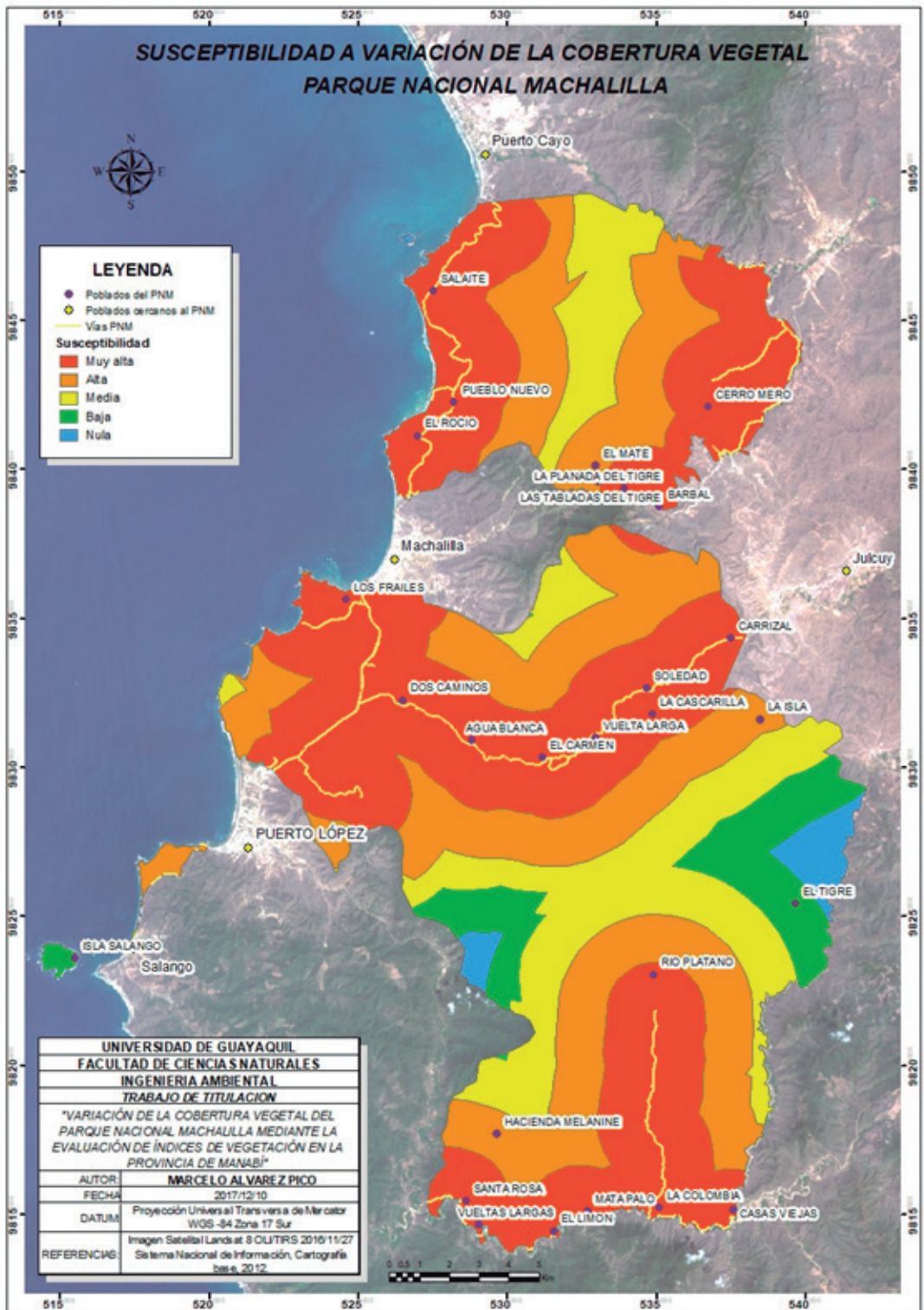


Figura 10. Mapa de Susceptibilidad a Variación de la Cobertura Vegetal del PNM

abundante es la clase matorral con un 43,47% del total de la superficie del parque para el año más reciente, lo que representa 18151,42 ha. Este porcentaje se aproxima a la cantidad que IEE (2016) indicó en su memoria técnica, el documento menciona que para el año 2016 la cobertura arbustiva en el área protegida representa el 40,51%.

Durante el primer periodo de análisis 1986-2000 la tasa de degradación anual fue 181,20 ha, y las coberturas que cambiaron significativamente fueron aquellas que representan al estrato arbustivo, juntas constituyen un cambio de 14,73% de la superficie del área protegida. De ese total, 311,57 ha se convirtieron en zona antrópica y zona agropecuaria, y alrededor de 8400 ha pasaron a formar parte del estrato arbóreo. INEFAN (1998) indica que para el periodo 1961-1996 aparecieron 9500 ha del estrato arbustivo, coincidentemente las mismas áreas se consolidaron en zonas boscosas años posteriores.

En el intervalo 2000-2016 se evidenció que la tasa de degradación disminuyó a 152,83 ha/año y hubo un aumento de las masas forestales. Este aumento provino de las clases suelo, zona antrópica y zona agropecuaria, constituyendo 508 ha más de masas forestales. Además, 9257 ha pasaron a ser de zonas arbustivas a zonas boscosas. Estos cambios favorables tienen razón de ser debido a los mecanismos de conservación y protección ejecutados desde la creación del Ministerio del Ambiente del Ecuador en 1998. Lo puesto en evidencia concuerda con lo aseverado por organismos internacionales como FAO (2016), el cual indica que durante los años del 2010 al 2015 se compensó la pérdida de cobertura boscosa por aquellas áreas agrícolas abandonadas alrededor del planeta.

En contraste, de los dos periodos mencionados anteriormente el que más presentó mayor tasa de degradación anual fue el periodo 1986-2000. Lo que se corrobora con lo mencionado por Martínez (2017) que para aquellas épocas desde que se logró la declaratoria de Machalilla como Parque Nacional en 1979 hasta inicios de la década de los noventa el área protegida sufrió degradación de su vegetación por actividades incompatibles como extracción de madera, pastoreo, asentamientos humanos y agricultura.

Producto de la clasificación supervisada de imágenes se evidenció que solo 2,39% de la superficie del área protegida corresponde a clases suelo, zona antrópica y zona agropecuaria, y que mayoritariamente su extensión corresponde a vegetación natural (94,06%), teniendo en cuenta que la clase que más conservó su superficie fue el bosque húmedo. Lo cual es un indicador de que actualmente PNM presenta mejores condiciones de conservación en sus zonas terrestres que en décadas pasadas.

Finalmente, a través del análisis espacial se generó la cartografía de susceptibilidad a variación de la cobertura vegetal. La cual corroboró que zonas que

han sufrido pérdida y degradación en sus masas vegetales están estrechamente relacionadas a la aproximación geográfica de estas a poblados y vías pavimentadas, lastradas y trochas abiertas. Lo cual indica que el 73,82 % de la pérdida de cobertura vegetal sucedida en los últimos 30 años se encuentran dentro de las zonas delimitadas como “muy alta” y “alta” susceptibilidad a variación.

Conclusiones

- Durante los 30 años de análisis del presente estudio se determinó que hubo una pérdida neta de cobertura vegetal de 505,1 ha en el Parque Nacional Machalilla.
- De la extensión terrestre total del área protegida, 39.274 hectáreas corresponden a vegetación natural, lo que representa 94,06%. Solo el 2,4% corresponde a suelo desprotegido, zonas antrópicas y zonas agropecuarias.
- Mediante la cartografía generada de susceptibilidad a variación de la cobertura vegetal se dio a conocer que el 73,82 % de las pérdidas de cobertura vegetal se situaron en zonas de alta y muy alta susceptibilidad, las cuales corresponden áreas cercanas a la franja costera y al valle de Buena Vista o también conocido Comuna de Agua Blanca.

Recomendaciones

- Analizar los efectos del cambio climático en la vegetación del PNM, además de conocer la correlación de parámetros climáticos con índices de vegetación.
- Actualizar con carácter urgente el Plan de Manejo del Parque Nacional Machalilla. Lo cual debe ser gestionado por el ministerio de ramo, actores sociales y demás entidades gubernamentales en materia ambiental.
- Incentivar a las familias establecidas al interior del Parque Nacional para que desarrollen actividades compatibles con la conservación y protección del área protegida.
- Proponer estrategias ambientales para promover la protección y conservación de la cobertura vegetal del bosque seco tropical de la zona de estudio.
- Empezar campañas de concientización ambiental en centros educativos y poblados al interior y cercanos al área protegida para fomentar una cultura de protección hacia la naturaleza.
- Aplicar las técnicas descritas de este estudio en otras áreas protegidas del territorio nacional para maximizar el alto beneficio y bajo costo que provee su desarrollo.

Referencias

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2014). Metodología para la Corrección Atmosférica de

- Imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 con el Módulo FLAASH del Software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39-59.
- Ahmed, K., & Akter, S. (2017). Analysis of landcover change in southwest Bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with landsat multi-spectral surface reflectance satellite data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*(8), 168-181.
- Álvarez-Bermúdez, X., Valero-Gutiérrez, E., Picos-Martín, J., & Ortiz-Torres, M. (2015). Study of Land Cover of Monte Forgoselo using Landsat Thematic Mapper 5 Images (Galicia, NW Spain). *DYNA*, 82(190), 173-181.
- Casal, G., & Freire, J. (2012). Síntesis de la evolución histórica de la teledetección en España (1889-2012). *Teledetección*(38), 109-120. Obtenido de http://www.aet.org.es/revistas/revista38/Numero38_10.pdf
- Chuvioco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Planeta, S.A.
- Emery, W., Camps, A., & Rodríguez-Cassola, M. (2017). *Introduction to Satellite Remote Sensing*. Colorado: Elsevier B. V. doi:doi.org/10.1016/B978-0-12-809254-5.12001-9
- FAO. (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5850s.pdf>
- Gabàs Masip, J. (2015). Maxwell: la teoría electromagnética de la luz. *Arbor*, 191(775), 191. Obtenido de <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2068/2628>
- Ghandi, M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and GIS-A case study of Vellore district. *Procedia Computer Science*, 57, 1199-1210.
- IEE. (2016). Proyecto Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional 1:25000. Cobertura y Uso de Suelo Parque Nacional Machalilla. Obtenido de IDEPORTAL/IEE: http://www.ideportal.iee.gob.ec/nacional/areas_pane/machalilla.html
- INEFAN. (febrero de 1997). Instituto Ecuatoriano Forestal y Áreas Naturales y Vida Silvestre. Recuperado el junio de 27 de 2017, de Dirección Nacional de Áreas Naturales y Vida Silvestre: <http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/geovanna/Estudio%20del%20Uso%20Actual%20y%20Potencial%20del%20Suelo%20E%80%93%20Diagnostico%20Hidro%20C%20B%20gico%20y%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
- IPCC. (2013). *Glosario. Cambio Climático 2013 Bases físicas*. (S. Planton, Ed.) Cambridge, New York, Reino Unido, EEUU. Recuperado el 25 de septiembre de 2017, de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- Knight, J. F., & Lunetta, R. S. (2003). An Experimental Assessment of Minimum. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9), 2132-2134. Obtenido de http://users.clas.ufl.edu/mbinford/geo4120c/Knight_and_lunetta_2003_Minimum_Mapping_Unit_size_study_IEEETrans.pdf
- Kong, J. (2014). *International Conference on Remote Sensing and Wireless Communications (RSWC 2014)*. (J. Kong, Ed.) Shanghai: DEStech Publications, Inc.
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*(33), 74-159.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (Vol. 7th Edition). Wisconsin, Estados Unidos: John Wiley & Sons. Inc. Recuperado el 2017
- MAE. (2007). *Plan Gerencial del Parque Nacional Machalilla, 2008-2010*. Quito. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/890928/Plan+Gerencial+del+Parque+Nacional+Machalilla.pdf/168906c9-242b-46b8-abb8-9786c1cede91>
- Martínez, S. (11 de Noviembre de 2017). Breve Reseña Histórica del PNM. (M. Álvarez, Entrevistador)
- Mather, P., & Tso, B. (2016). *Classification methods for remotely sensed data*. (Segunda ed.). New York: CRC press.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*. Quito. Obtenido de <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto%20mapa-parte1.pdf>
- Shultz, M., Clevers, J., Carter, S., Verbesselt, J., Avitabile, V., Quang, H., & Herold, M. (2016). Performance of vegetation indices from Landsat series in deforestation monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 318-327.
- UICN. (2017). Unión Internacional de Conservación para la Naturaleza. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <https://www.iucn.org/es/regiones/am%C3%A9rica-del-sur/nuestro-trabajo/%C3%A1reas-protégidas/categor%C3%ADas-de-manejo-de-%C3%A1reas-protégidas-de-uicn>
- Yengoh, G., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A., & Tucker, C. (2014). The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales. (Lund University Center for Sustainability Studies, & STAP/GEF, Edits.) Lund: LUCSUS.

Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) de la costa y sierra ecuatoriana

Determination of cadmium levels in maize grains (*Zea mays* L.) from
the coast and ecuadorian sierra

Joela Condo-Franco^{1*} & Beatriz Pernía²

¹Profesional, egresado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl
Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

²Docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez
Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

Recibido 2 de agosto 2018; recibido en forma revisada 26 de agosto 2018, aceptado 3 de octubre 2018
Disponible en línea 20 de diciembre 2018

Resumen

Se determinó las concentraciones de Cd en granos de maíz de la costa y sierra del Ecuador, para los análisis se eligieron seis variedades de mayor consumo: dulce, duro, canguil, morocho, chulpi y blanco. Las muestras se tomaron por triplicado (n=3) de cada variedad, además fueron procesadas y analizadas por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Las seis variedades presentaron concentraciones de Cd por debajo del límite máximo permisible (0,1 mg/kg) establecido por la Unión Europea, el *Codex Alimentarius* y la norma INEN 187:2013. En el análisis comparativo por regiones, los niveles promedio de Cd son mayores en la Sierra (0,019 mg/kg) que en la Costa (0,006 mg/kg Cd). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre variedades (p>0,05). La mayor concentración de Cd la obtuvo el morocho (0,025±0,022 mg/kg Cd) y la menor la variedad dulce (0,001±0,000 mg/kg Cd). Se evidenció que las concentraciones de Cd están directamente relacionadas a los días de cosecha y a la altitud a la que se cultivan. Además, se planteó una propuesta para mitigar o disminuir la contaminación por Cd en los suelos agrícolas. **Palabras claves:** bioacumulación, cadmio, Ecuador, granos de maíz, *Zea mays*.

Abstract

Concentrations of Cd were determined in corn grains harvested on coast and sierra of Ecuador, six varieties of greater consumption have been chosen for analysis: sweet, dent, popcorn, morocho, chulpi and white. For each variety, the samples were taken in triplicate (n=3), besides were processed and analyzed by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry. The six varieties presented concentrations below the maximum permissible limit (0.1 mg/kg) established by the European Union, the *Codex Alimentarius* and the INEN 187:2013. In the comparative analysis by regions, average levels of Cd are higher in the sierra (0.019 mg / kg) than in the coast (0.006 mg / kg Cd). There were no statistically significant differences between varieties (p > 0.05). The highest concentration of Cd was obtained by the morocho (0.025 ± 0.022 mg / kg Cd) and the lowest by the sweet variety (0.001 ± 0.000 mg / kg Cd). It was evidenced that the concentrations of Cd are directly related to the days of harvest and the altitude at which they are grown. In addition, a proposal to mitigate or decrease the contamination by Cd in agricultural soils has been presented.

Keywords: bioaccumulation, cadmium, corn grains, Ecuador, *Zea mays*.

Introducción

Una de las más graves problemáticas del siglo XXI, es la contaminación de cuerpos hídricos, suelos y aire por metales pesados, que ponen en riesgo la salud pública y seguridad alimentaria a nivel mundial (Reyes *et al.*, 2016). A nivel global se conocen registros de múltiples casos de afectaciones a la salud por el consumo de

alimentos con elementos químicos perjudiciales para el ser humano. Dentro de los contaminantes de los alimentos tenemos el cadmio y el plomo como metales pesados más tóxicos y capaces de producir enfermedades en seres humanos (Pernía *et al.*, 2015). El cadmio posee una vida media de diez a cuarenta años en humanos, a consecuencia de que su eliminación es lenta en el organismo, se

* Correspondencia del autor:
E-mail: jiavett@hotmail.com



acumula y con el paso del tiempo las concentraciones aumentan (López, 2016).

La primera causa de exposición al cadmio en fumadores es el humo de cigarrillo y para las personas no fumadoras la primera causa es la ingesta de alimentos contaminados (Reyes *et al.*, 2016). Entre los efectos predominantes causados por el cadmio tenemos las afectaciones en los huesos y riñones, con mayor vulneración a estos efectos se encuentran las personas con niveles bajos de hierro (Pérez y Azcona, 2012). También se ha descrito que el Cd genera diabetes, hipertensión y cáncer en animales y humanos, donde se ha reportado cáncer de mama, de próstata y pulmones (ATSDR, 2012; Clemens *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2013).

En los últimos años existe la preocupación de la contaminación de los suelos con metales pesados, principalmente en los suelos de uso agrícola debido a que la absorción de metales por parte de las especies vegetales es la principal causa de ingreso de estos elementos a la cadena alimenticia. La contaminación de los suelos agrícolas por el elemento cadmio proviene del uso de fertilizantes con contenidos fosforados, entre otras causas secundarias está el uso de agua contaminada para riego, uso de lodos industriales y la mineralización de rocas (Marrero *et al.*, 2012). Debido a esto se buscan estrategias para remediar los suelos, como el caso de la materia orgánica capaz de disminuir o precipitar el cadmio dejándolo no disponible para las plantas (Huaynates, 2013).

El maíz, *Zea mays*, es capaz de absorber cadmio y distribuirlo entre sus órganos (Pernía, 2013). Los contenidos de cadmio en el maíz pueden ingresar al ser humano mediante la ingesta de granos de maíz o sus derivados, también por el consumo de carne de animales alimentados a base de este cultivo. Por esta razón, detectar la presencia de cadmio en granos de maíz es primordial para asegurar la soberanía alimentaria y prevenir enfermedades a la población, también permite hacer una panorámica ambiental sobre la contaminación presente en los suelos y la cantidad acumulada de cadmio en la parte comestible del maíz (grano).

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se circunscribe a las regiones costa y sierra del Ecuador, en donde el uso del suelo agrícola se encuentra destinado al cultivo del maíz (fig. 1). La adquisición de muestras de granos de maíz se realizó en el Mercado Central de la ciudad de Guayaquil, en donde se comercializan diferentes variedades provenientes de la costa y sierra ecuatoriana. Las coordenadas UTM de la ubicación geográfica del sitio de adquisición de los granos de maíz son 623675, 9757451.

Determinación de muestras

Al analizar la información recolectada de bases de datos de varias instituciones (Iniap, Pronaca, Ecuquímica, Sinagap, Agripac), se obtuvo que existen muchas variedades de maíz, por lo que se optó seleccionar para el muestreo a los maíces de mayor consumo ecuatoriano y se procedió a clasificarlos de acuerdo a su procedencia regional sea del Litoral o Sierra del Ecuador, como se detalla en la tabla 1.

Las características botánicas y agrícolas de cada variedad de maíz se puntualizan en la tabla 2.

Colecta y número de muestras

Las muestras de granos de maíz de las seis variedades se adquirieron por triplicado (n=3) en el mercado Central de la ciudad de Guayaquil, obteniendo un total de dieciocho muestras con un peso de mínimo 500 gramos. Estas fueron almacenadas en fundas herméticas ziploc, rotuladas con su código de identificación y georeferenciadas empleando un GPS portátil.

Análisis de muestras

El análisis de las muestras fue realizado por el Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológico de Alimentos de la Dirección de Regulación y Diagnóstico de la Calidad e Inocuidad del Instituto Nacional de Pesca de la ciudad de Guayaquil. La medición del Cd se realizó través de la digestión ácida con microondas y Espectrofotometría de Absorción Atómica en Horno de Grafito, empleando un espectro de horno de grafito marca Variam modelo 220Z Spectra, utilizando el método de referencia AOAC 999.10 Ed. 20, 2016.

Análisis estadísticos

Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa Minitab versión 17. Se empleó la prueba paramétrica de ANOVA de una vía y se aplicó comparación de medias con la prueba test a posteriori de Tukey ($p > 0.05$), para determinar la existencia de diferencias significativas estadísticas entre las medias de las concentraciones de cadmio. Los resultados se presentaron como medias \pm desviación estándar (n=3).

Se efectuó un análisis de correlación de Pearson para determinar la correlación entre las concentraciones de cadmio, la altitud y los días de cosecha, dichos resultados se mostraron en un gráfico de contorno (fig. 5).

Resultados

Tamaño de los granos de maíz de las distintas variedades

Los tamaños de los granos variaron según la variedad de maíz (fig. 2). El grano con mayor longitud fue el blanco ($1,92 \pm 0,13$ cm), seguido por el Chulpi ($1,67 \pm 0,13$ cm), y los más pequeños el duro ($1,11 \pm 0,04$ cm) y el canguil ($0,95 \pm 0,05$ cm). Según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey el maíz dulce presenta un valor intermedio de longitud ($1,40 \pm 0,16$ cm; $F = 44,12$; $p = 0,000$).

En cuanto al ancho de los granos solo se observó diferencia significativa en el blanco (1.51 ± 0.17 cm) y el chulpi (1.43 ± 0.18 cm) con respecto al ancho de las demás variedades ($F=20,50$; $P=0,000$). El canguil fue variedad con menor longitud (0.76 ± 0.01 cm).

Concentración de cadmio en grano de las diferentes variedades de maíz

En cuanto a la concentración de Cd por variedad de maíz, se evidenció que el morocho tiene el mayor contenido de este metal ($0,025 \pm 0,022$ mg/kg Cd) y la menor concentración la presenta el maíz dulce ($0,001 \pm 0,000$ mg/kg Cd) (fig. 3); sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas según ANOVA de una vía ($F=3,63$; $p=0,129$).

Es importante destacar que se encontraron variaciones entre los granos provenientes de diferentes proveedores, debido a que en el caso del morocho se registró un valor mínimo de $0,0170$ mg/kg Cd y máximo de $0,0500$ mg/kg Cd. De igual manera en el caso del canguil se evidenció un valor no detectable y por el contrario un valor máximo de $0,027$ mg/kg Cd.

Concentración de cadmio en granos de maíz en las regiones costa y sierra

Por otro lado, en cuanto a la concentración de Cd por zona, se evidenció que en la sierra los niveles promedio de cadmio ($0,019$ mg/kg Cd) son mayores que en la costa ($0,006$ mg/kg Cd) y sus diferencias son significativas según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey ($F=5,98$; $P=0,027$) (fig. 4).

Concentración de cadmio respecto a las características morfológicas del maíz

Con la finalidad de conocer si existía o no correlación entre las concentraciones de cadmio y las características morfológicas de cada variedad de maíz, se presenta las características que diferencian a seis variedades híbridas de maíces adaptados a las

condiciones de la costa y sierra del Ecuador (tabla 3). La correlación directa entre los días de cosecha, la altitud y la concentración de Cd en los granos de maíz a través de un gráfico de contorno, mediante un análisis de correlación de Pearson, se corroboró que a mayor número de días de cosecha ($r=0,720$) y a mayor altitud ($r=0,806$), las concentraciones de Cd son mayores (fig. 5).

Medidas para prevenir y/o minorar el contenido de cadmio en los cultivos de maíz

Evitar el uso de agua contaminada con metales para la irrigación de cultivos.

Se debe evitar el uso de aguas servidas o contaminadas con Cd, debido a que el cadmio contenido en el agua constituirá un aporte de este elemento al suelo y posteriormente a las especies vegetales. Así mismo, hay que mantener bajas concentraciones de cloro en el agua, debido que a valores mayores a 450 mg/L incrementa la biodisponibilidad del cadmio y por ende su acumulación en las plantas. En este sentido, el cloro es capaz de movilizar el Cd en el suelo. En un experimento realizado por Khoshgoftarmensh, Jaafari y Shariatmadari (2008) al incrementar las concentraciones de NaCl en el agua de riego, aumentó la absorción de Cd en las plantas por la formación de complejos como $(CdCl_n^{2-n})$ (Khoshgoftarmensh *et al.*, 2008).







Usar cantidades adecuadas de fertilizantes preferentemente con bajos niveles de metales pesados.

El uso de fertilizantes nitrogenados aumenta el contenido de cadmio en suelos y posteriormente en cultivos de maíz, por lo que se debe reducir la aplicación de estos fertilizantes (Yu-kui, Fu-suo y Jian-bo, 2009). Además, utilizar nitrogenados amoniacales puede disminuir el pH a mediano y largo plazo, siendo este otro factor que incrementa la biodisponibilidad de los metales en el suelo (Morón y Díaz, 2003).

Tabla 1. Variedades de maíz muestreados, su consumo y procedencia.

Especie	Nombre común o comercial	Consumo	Zonificación
<i>Zea mays</i> L.	Maíz duro	Humano y animal	Todo el litoral ecuatoriano
<i>Zea mays</i> L.	Maíz dulce	Humano	Litoral
<i>Zea mays</i> L.	Maíz canguil	Humano y animal	Litoral
<i>Zea mays</i> L.	Maíz blanco	Humano	Sierra, especialmente Pichincha, Azuay y Cañar
<i>Zea mays</i> L.	Maíz morocho	Humano	Sierra (recomendado para Imbabura, Pichincha y Chimborazo)
<i>Zea mays</i> L.	Maíz Chulpi	Humano	Algunas provincias de la Sierra

Tabla 2. Descripción de los maíces muestreados

Nombre común o comercial	Características		Ciclo vegetativo (días)		Foto
	Color	Textura	Choclo	Seco	
Maíz duro	Amarillo anaranjado	Duro, cristalino con leve capa harinosa	55	120	
Maíz dulce	Amarillo	Suave, arrugado	80	100	
Maíz canguil	Amarillo anaranjado	Duro, cristalino	-	235	
Maíz blanco	Blanco	Harinoso	125	205	
Maíz morocho	Blanco	Cristalino	147	224	
Maíz Chulpi	Amarillo pálido	Arrugado, semi-harinoso	105	126	

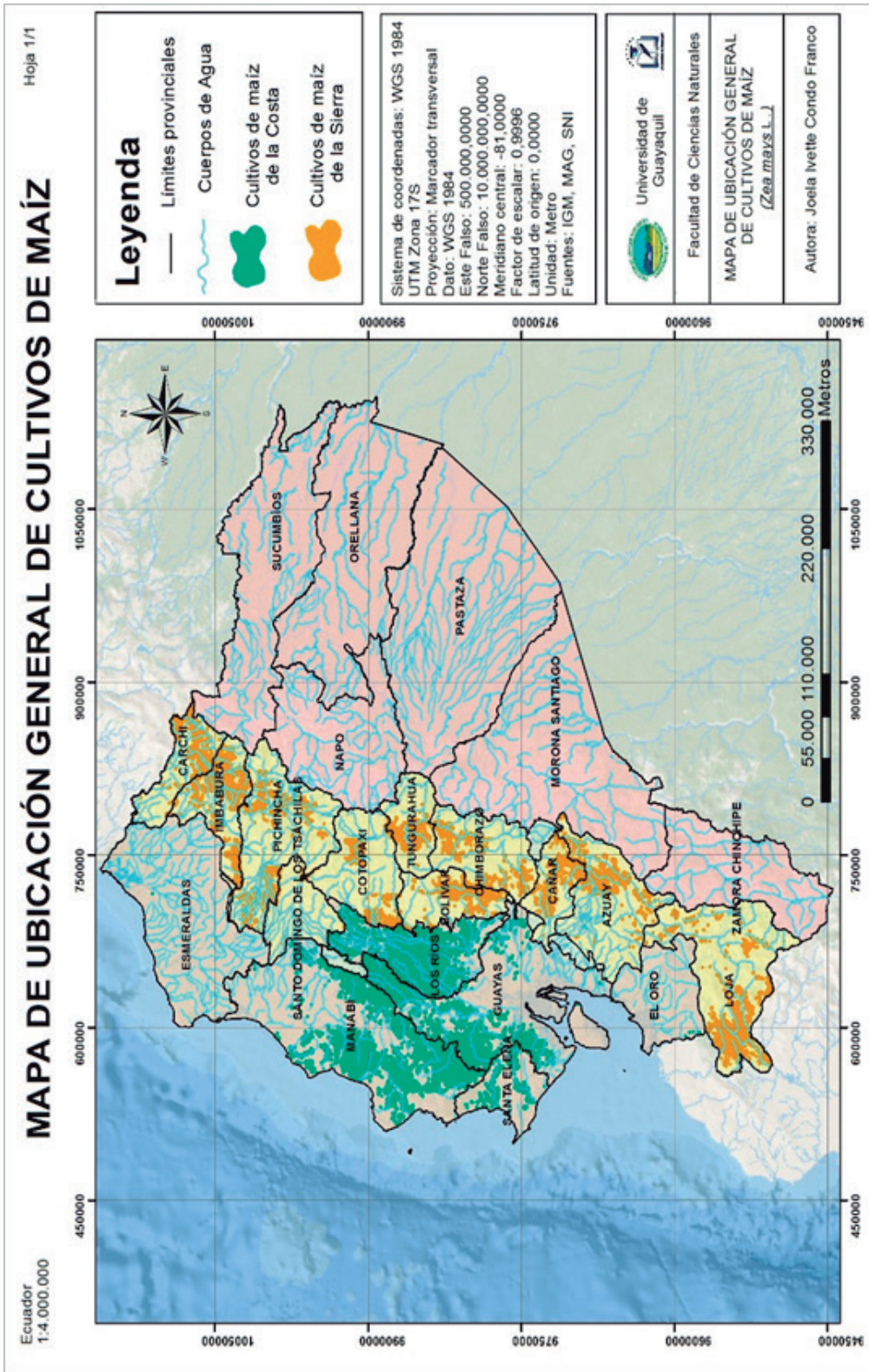


Figura 1. Área de estudio, cultivos de maíz distribuidos en la costa y sierra.

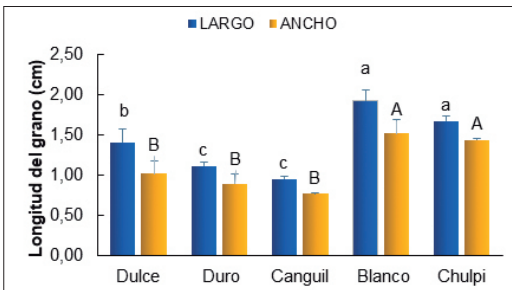


Figura 2. Comparación del largo y ancho de los granos de las variedades de maíz. Los resultados se muestran como medias±desviación estándar (n=4). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (p>0.05).

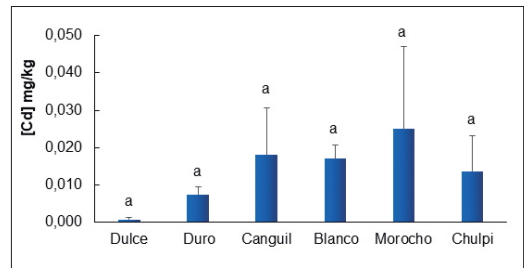


Figura 3. Concentraciones de cadmio en las diferentes variedades de maíz provenientes de la costa y sierra de Ecuador. Los resultados se muestran como medias±desviación estándar (n=3). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (p>0.05).

Evitarse la utilización de fertilizantes fosfatados

Durante la fabricación de los fertilizantes fosfatados, pequeñas cantidades de Cd contenidos en roca fosfórica son transferidos al mismo (Terry, 2014). En un estudio realizado por Muñoz (2017) se determinó que los fertilizantes fosfatados distribuidos en Ecuador contenían altos niveles de cadmio (Muñoz, 2017).

Aumentar en los suelos el contenido de materia orgánica.

La materia orgánica es capaz de absorber fuertemente al cadmio y otros metales, dejándolo no disponible, por este motivo las especies vegetales pese a encontrarse en suelos contaminados no presentarán concentraciones de Cd. Con la finalidad de incrementar el contenido de materia orgánica en los suelos agrícolas se pueden emplear compost, guano, carbón marrón, estiércol, entre otros (Huaynates, 2013; Puschenreiter, Horak, Friesl y Hartl, 2005).

Aplicar cal en suelos de cultivos de maíz para regular el pH

El pH puede intervenir en la disponibilidad y la solubilidad del Cd. En una investigación realizada por Huaynates (2013), en suelos con un pH ácido las plantas acumularon mayores concentraciones de cadmio y al aplicar cal se redujo la absorción de Cd

en plantas de maíz. La cal aumenta el pH del suelo dejándolo no disponible al metal, su aplicación debe darse en cantidades que no afecten al desarrollo de la planta (Puschenreiter *et al.*, 2005).

Emplear la fitorremediación para la restauración de suelos contaminados

Realizar técnicas de biorremediación en aguas contaminadas, como el uso de microorganismos (*Phanerochaete chrysosporium*) capaz de remover de aguas contaminadas con altas concentraciones los metales: cadmio, plomo y níquel (Fonseca y Tovar, 2008).

Emplear fitorrestauración para remover contaminantes a través de la actividad microbiana como bacterias, microorganismos rizosféricos y hongos que se asocian a la raíz de la planta, estos métodos son viables en el saneamiento de suelos contaminados con metales pesados (Marrero *et al.*, 2012).

La fitorremediación es otra estrategia ambientalmente amigable que se puede utilizar para remover el cadmio de los suelos agrícolas tal y como lo proponen Castrillo, Pernía, De Sousa y Reyes (2012) y Pernía *et al.* (2016) es el uso del helecho acuático *Azolla sp.* y *Limnocharis flava* para extraer el cadmio.

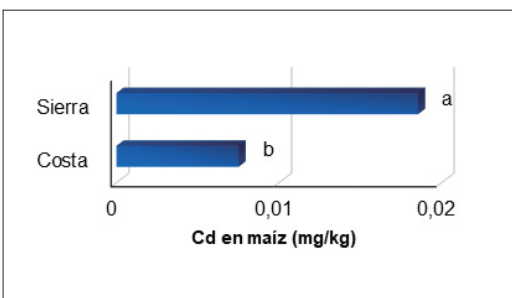


Figura 4. Concentraciones de cadmio en granos de maíz proveniente de la costa y sierra de Ecuador. Los resultados se muestran como medias±desviación estándar (n=9). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (P>0.05).

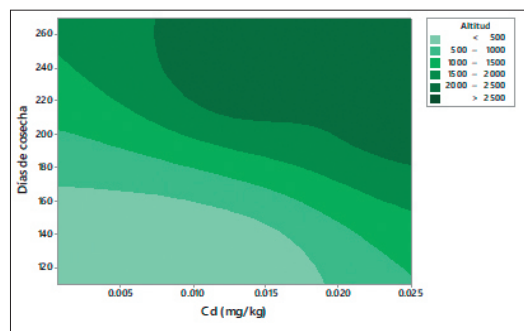


Figura 5. Correlación entre concentraciones de cadmio, altitud y días de cosecha para *Zea mays*. En la gráfica de contorno se observa que, a mayor cantidad de días de cosecha y mayor altitud se registra mayor concentración de Cd en los granos de maíz.

Tabla 3. Variedades híbridas de maíz con sus respectivas características agronómicas y morfológicas.

Características agronómicas y morfológicas						
Nombre común	Dulce	Duro	Canguil	Blanco	Morocho	Chulpi
Zona	Costa	Costa	Costa	Sierra	Sierra	Sierra
Variedad	-	INIAP H-552	-	INIAP 102	INIAP H-160	INIAP 192
Altitud (m)	20	20	80	2800	3100	2800
Altura de planta (cm)	230	240	160	238	231	195
Longitud mazorca (cm)	15	17	12	14	17,2	16,5
Cosecha (días/seco)	110	120	115	270	224	240

Medidas generales

- No cultivar especies vegetales cerca de zonas industriales y a carreteras, evitando así la exposición a contaminantes atmosféricos.
- No incinerar residuos urbanos próximos a zonas de cultivos.
- Cultivar como mínimo a diez metros de distancia de fábricas de fertilizantes.
- Implementar la rotación de cultivos para reducir la transferencia de metales pesados.

Discusión

En promedio se encontró trazas de cadmio en el 89% de las muestras de maíz. Sin embargo, las concentraciones de este elemento no superan el límite máximo permisible (LMP) para cereales de 0,1 mg/kg Cd según las normas internacionales *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2015), la Unión Europea (EU, 2014) y la norma nacional INEN 187:2013 para cereales y leguminosas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Se evaluó la variabilidad de los niveles del metal pesado (Cd) en maíz en grano entre diferentes variedades y cultivos de costa y sierra ecuatoriana y se encontró la mayor concentración del metal pesado en la sierra, las diferencias significativas halladas podrían deberse a la presencia de volcanes en la región andina, los cuales se han descrito como fuentes naturales de cadmio.

También se evidenció que, dependiendo del proveedor, el maíz puede tener mayores o menores niveles de cadmio, por lo que se recomienda a las autoridades realizar estudios de Cd en los suelos y fertilizantes de la costa, enfocando mayor interés a los de la sierra para encontrar el origen de la contaminación. Así mismo, se encontró que las concentraciones de cadmio están relacionadas a la altitud y a los días de cosecha, es decir mientras más días de cosecha mayor tiempo de absorción y acumulación tendrá la planta de maíz.

La presencia del cadmio en los granos de maíz podría explicarse por el uso de fertilizantes fosfatados que contienen este metal pesado. Bonomelli *et al.* (2003), demostraron que al emplear en los suelos dosis de fertilizantes fosforados con contenidos de cadmio, una parte considerable de este metal queda disponible para las plantas. En un estudio realizado por Barrow (1998) y Bonomelli *et al.* (2003) encontraron que la fracción del cadmio disponible en el suelo, no varió ni disminuyó durante noventa días, lo que constituye la acumulación de este metal con el tiempo. Muñoz (2017) halló concentraciones de cadmio que excedían los 20 mg/Kg en fertilizantes empleados por agricultores en los cantones Daule y Nobol.

Los granos de maíz estudiados no mostraron contaminación por cadmio a niveles que afecten la salud humana. Se evaluaron seis variedades de maíz y su reconocimiento de granos en el mercado se realizó utilizando datos obtenidos de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP), principalmente. A su vez las variedades de maíz fueron agrupadas en dos grupos, las pertenecientes a la costa ecuatoriana como el maíz duro para gallinas, el maíz dulce y el canguil, y en el segundo grupo se encuentran las variedades de maíz blanco, morocho y chulpi en la Sierra.

Los valores hallados en la presente investigación son menores a los mencionados por Kabata y Pendias (2001) para granos de maíz dulce 0,012 mg/kg en New York. Lara *et al.* (2015) evaluaron en México concentraciones de cadmio en dos variedades de maíz en semilla, la variedad "Caimán" y "Ocelote" con valores de 0.043 y 0.036 mg/kg de peso seco, respectivamente, estos valores son menores en comparación a los hallados en el maíz morocho (0,050 mg/kg) y mayores al resto de maíces estudiados. De igual forma, Branco *et al.* (2015) encontraron en Mato Grosso y Minas Gerais en Brasil una concentración media de 0,04 mg/kg en granos con presencia de humedad y estimaron que en grano seco podría llegar a contener 0,11 mg/kg.

No se encontraron referencias sobre estudios de análisis de contenidos de cadmio en granos de maíz a

nivel nacional, pero Villacrés (2013) encontró que las plantas de maíz (*Zea mays*) mostraban cierto grado de tolerancia al cadmio.

Las concentraciones de cadmio en granos de maíz obtenidos en este estudio, en comparación a otras investigaciones internacionales, no muestran diferencias significativas, lo cual podría deberse a que las variedades de maíz poseen similares características morfológicas y agronómicas como la altura de la planta, tamaño de la mazorca y tiempo de cosecha, también podría deberse a la capacidad de bioacumular cadmio. Cabe destacar que los niveles de cadmio en las plantas pueden variar de acuerdo a las concentraciones de metales pesados contenidos en suelos de donde se cultiven. El comportamiento del Cd presente en el suelo dependerá de los procesos químicos, físicos y biológicos que en el ocurran (Bonomelli *et al.*, 2003; Melo *et al.*, 2014).

Los granos de maíz presentaron concentraciones medias de 0,013 mg/kg Cd, estos valores fueron inferiores a los reportados en otros cereales de Ecuador, de acuerdo a Muñoz (2017) en granos de arroz se encontraron concentraciones de $0,19 \pm 0,050$ mg/kg Cd, de igual forma para los valores registrados por López (2017) en granos de soya con $0,183 \pm 0,044$ mg/Kg Cd. Los niveles bajos de cadmio presentados en las muestras en comparación a otros cereales, podría corresponder a que según Kobaissi *et al.* (2014) “el potencial de acumulación y translocación de metales pesados depende de las especies vegetales y del tipo de metal”. En comparación con otras especies vegetales, el maíz posee una acumulación relativamente baja de Cd (Puschenreiter *et al.*, 2005).

Zea mays fue capaz de absorber y acumular cadmio en sus granos, siendo concordante con los resultados conseguidos por Mojiri (2012) quien indica que el maíz es eficaz para la fitorremediación de suelos contaminados mediante la acumulación de plomo y cadmio, de igual forma Zhang *et al.* (2009) demostraron que el porcentaje de cadmio intercambiable en el suelo disminuyó con las plantaciones de maíz, cabe mencionar que la “bioconcentración de cadmio en las raíces es más alta que en los brotes” (Azevedo *et al.*, 2014; Mojiri, 2012; Zhang *et al.*, 2009).

Conclusiones

Las concentraciones de cadmio en granos de maíz de la costa y sierra de Ecuador se encuentran por debajo del límite máximo permisible para cereales (0,1 mg/kg) según el Codex Alimentarius de la FAO.

Esto indica que las concentraciones de cadmio en los cultivos de maíz no representan un riesgo para la salud humana.

Las seis variedades de maíces analizadas en el presente estudio mostraron contener cadmio en sus granos; sin embargo, los valores hallados son menores a lo establecido según las normativas regulatorias (0,1 mg/kg).

Los mayores niveles de cadmio se registraron en granos de maíz provenientes de la sierra, esta mayor incidencia de Cd podría deberse a la presencia de volcanes y a las condiciones climáticas propias de la región andina.

La producción de maíz va en aumento en el Ecuador, el creciente interés de sembrar semillas de mejor calidad para obtener una producción mayor, resistente a plagas y enfermedades, llega a niveles de poder sobrepasar la demanda nacional y servir para el mercado internacional. Según las concentraciones de cadmio analizadas en este estudio, el maíz ecuatoriano es clasificado como de excelente calidad para exportación.

Recomendaciones

Analizar la distribución de las concentraciones de cadmio en raíces, tallos, hojas y mazorcas en plantas de maíz, con la finalidad de conocer su capacidad de absorción y el órgano que presente mayor acumulación de este metal.

Realizar análisis del contenido de cadmio y otros metales pesados en plantas de maíz, cultivados en diferentes tipos de suelo y clima, con la finalidad de conocer la influencia de estos factores en la cantidad de absorción y distribución de metales pesados en el maíz.

Continuar las evaluaciones de metales pesados, en suelos, sedimentos y agua que se encuentren relacionados directa o indirectamente a las zonas destinadas a uso de suelo agrícola, principalmente a los cultivados en la sierra de Ecuador.

Evaluar el contenido de cadmio en carne de ave de consumo humano, radica su importancia debido a que los resultados de este estudio comprobó que existe la presencia de cadmio en granos de maíz y pese a encontrarse por debajo del límite máximo permisible (0,1 mg/kg) constituyen un aporte de este metal en el alimento para aves de corral que posteriormente es consumido por el hombre siendo el valor máximo permitido en carne de ave (0,05 mg/kg peso fresco), en hígado y riñones de ave de corral (0,5 y 1,0 mg/kg peso fresco), respectivamente.

Determinar las concentraciones de cadmio en productos derivados del maíz tales como harinas, balanceados, aceites, snacks, entre otros productos alimenticios.

Referencias

- ATSDR. 2012. *Toxicological Profile for Cadmium*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Service- U.S. Department of Health and Human Services, (Septiembre), 1-487. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf%5Cnhttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158845/> Consulta Noviembre 2017
- Azevedo, L., Barbosa, E., y Ferracciú, L. (2014). Transfer of cadmium and barium from soil to crops grown in tropical

- soils. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 1939-1949. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600028>
- Barrow, N. (1998). Effects of time and temperature on the sorption of cadmium, zinc, cobalt, and nickel by a soil. Australian Journal of Soil Research, 36(6), 941. <https://doi.org/10.1071/S98048>
- Bonomelli, C., Bonilla, C., y Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 38(10), 1179-1186. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001000007>
- Branco, A., Amaral, G., Cardoso, V., Andrade, C., Amaral, W., Dias, F., y Guimaraes, L. (2015). Assessing arsenic, cadmium, and lead contents in major crops in Brazil for food safety purposes. Journal of Food Composition and Analysis, 37, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.004>
- Castrillo, M., Pernía, B., De Sousa, A., y Reyes, R. (2012). Utilization of Different Aspects Associated with Cadmium Tolerance in Plants to Compare Sensitive and Bioindicator Species. Phytotechnologies. En N. Anjum, M. Pereira, I. Ahmad, A. Duerte, S. Umar, N. Khan (Ed.), Remediation of Environmental Contaminants (429-442). Florida, Estados Unidos: CRC Press.
- Clemens, S., Aarts, M., Thomine, S., y Verbruggen, N. (2013). Plant science: The key to preventing slow cadmium poisoning. Trends in Plant Science, 18(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>
- EU. (2014). Reglamento (UE) No 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Diario Oficial de La Unión Europea, 9(L138), 75-79. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- FAO/OMS. (2015). Codex Alimentarius. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Ginebra, Suiza.
- Fonseca, D., y Tovar, K. (2008). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de la podredumbre blanca inmovilizados (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C. Colombia.
- Huaynates, J. (2013). Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Supte (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 187: 2013 Tercera revisión (2013). Ecuador.
- Kabata, A., y Pendas, H. (2001). Trace elements in soils and plants. New York (Vol. 2nd). <https://doi.org/10.1201/b10158-25>
- Khoshgoftarmensh, A., Jaafari, B., y Shariatmadari, H. (2008). Effect of salinity on Cd and Zn availability. Shoot, (33), 1-7.
- Lara, F., Ventura, A., Ehsan, M., Rodríguez, A., Vargas, J., y Landero, N. (2015). Contenido de cd y pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el valle de Mezquital, Hidalgo, México.
- López, L. (2016). Estudio de complejos metálicos con ligandos de interés biológico (Tesis doctoral). Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
- López, J. (2017). Determinación de cadmio y plomo en soya (*Glycine max* L.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil-Ecuador (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Marrero, J., Amores, I., y Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, 46(3), 52-71. <https://doi.org/ISSN: 0138-6204>
- Martínez, F., Souza, V., Bucio, L., Gómez, L., y Gutiérrez, M. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. Acta Toxicológica Argentina, 21, 33-49.
- Melo, L., Silva, E., y Alleoni, L. (2014). Transfer of cadmium and barium from soil to crops grown in tropical soils. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, (November), 1939-1949. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600028>
- Mojiri, A. (2012). The Potential of Corn (*Zea mays*) for Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead. J. Biol. Environ. Sci, 5(13), 17-22.
- Morón, A., y Díaz, R. (2003). Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos-pasturas de INIA La Estanzuela en el área de fertilidad de suelos (1963-2003). En P. Bonino (Presidencia). 40 AÑOS DE ROTACIONES AGRÍCOLAS-GANADERAS. Simposio llevado a cabo en el INIA La Estanzuela, Montevideo, Uruguay.
- Muñoz, J. (2017). Determinación de Cadmio en fertilizantes, plantas de *Oryza sativa* L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Pérez, P., y Azcona, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, 17(3), 199-205.
- Pernía, B. (2013). Respuestas a la exposición al cadmio y su tasa de acumulación en plantas de *Amaranthus lividus*, *Phaseolus vulgaris* y *Wedelia trilobata* (Tesis doctoral). Universidad Simón Bolívar, Santa Ana de Coro, Venezuela.
- Pernía, B., Mero, M., Bravo, K., Ramírez, N., López, D., Muñoz, J., y Egas, F. (2015). Detección de cadmio y plomo en leche de vaca comercializada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Ciencias Naturales y Ambientales, 8(2), 81-86.
- Puschenreiter, M., Horak, O., Friesl, W., y Hartl, W. (2005). Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain - A review. Plant, Soil and Environment, 51(1), 1-11.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación Por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente Y Seguridad Alimentaria. Investigación Y Desarrollo, 16(2), 66-77.
- Terry, R. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. Procedia Engineering, 83, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>
- Villacrés, B. (2013). Implementación de un banco de hongos micorrízicos arbusculares, aislados de suelos del área de influencia de Ep Petroecuador y su efecto en el crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) en condiciones de estrés por cadmio, en el cantón La Joya de Los Sachas. Escuela Politécnica del Ejército Departamento, Sangolquí, Ecuador.
- Zhang, H., Dang, Z., Zheng, L. C., y Yi, X. (2009). Remediation of soil co-contaminated with pyrene and cadmium by growing maize (*Zea mays* L.). International Journal of Environmental Science and Technology, 6(2), 249-258. <https://doi.org/10.1007/BF03327629>

Pesquería artesanal y aspectos reproductivos de merluza *Merluccius Gayi* en el puerto pesquero de Anconcito en la provincia de Santa Elena durante el 2014

Artisanal fishery and reproductive aspects of hake *Merluccius Gayi* in the fishing port of Anconcito in the province of Santa Elena during 2014

Dario Pilay^{1*} & Antonio Torres²

¹Consultor, Egresado de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

²Docente-Investigador de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

Recibido 4 de agosto 2018; recibido en forma revisada 26 de agosto 2018, aceptado 3 de octubre 2018
Disponible en línea 20 de diciembre 2018

Resumen

Un total de 1899 muestras de merluza (*Merluccius gayi*) de la pesca artesanal utilizando como arte de pesca el espinel de fondo, colectadas durante el año 2014, en Anconcito, provincia de Santa Elena. Las muestras fueron clasificadas entre 630 machos (33.25%) y 1.269 hembras (66.75%), lo que indicó que hubo mayor presencia de hembras en relación a machos, esto se evidenció con los resultados de la proporción sexual (1:2,01). En la composición de la captura de fauna asociada *Prionotus stephanophrys* fue la especie que mayor porcentaje presentó (79,7 %). En cuanto a la madurez sexual de las muestras de *Merluccius gayi* analizadas, los estadios III y V presentaron la mayor dominancia. La talla media de madurez sexual de la población de *Merluccius gayi* para hembras analizada quedó determinada en 31 cm de Lt. La información resultante recomienda que se realice un seguimiento biológico pesquero al recurso estudiado y que esta información permita constituir un adecuado manejo del mismo.

Palabras clave: Aspectos reproductivos, espinel de fondo, *Merluccius gayi*, pesca artesanal.

Abstract

A total of 1.899 samples of hake (*Merluccius gayi*) were collected during 2014 by the artisanal fishery using the bottom spinel as a fishing gear in Anconcito, in the province of Santa Elena. The samples were classified as 630 males (33.25%) and 1.269 females (66.75%), the results indicate that the presence of females was higher than that of males, that was evidenced by the sexual proportion of 1: 2.01. *Prionotus stephanophrys* was the species with the highest percentage (79.7%) in the catch composition of associated fauna. Regarding to sexual maturity, samples of *Merluccius gayi* showed the highest dominance at stages III and V. The average length of maturity of the population of females of *Merluccius gayi* was determined at 31 cm of Lt. The resulting data suggests that a biological fishing follow-up must be carried out to establish an adequate management of this resource.

Keywords: Artisanal fishing, bottom spinel, *Merluccius gayi*, reproductive aspects.

Introducción

La pesca es una de las primeras actividades del hombre, encaminada a satisfacer sus necesidades alimenticias, siendo el mar una fuente importante de recursos alimenticios. La extracción de estos recursos marinos se realiza mediante diferentes tipos

de embarcaciones y a nivel general, se conocen dos tipos de pesquerías: industrial y artesanal (Revelo y Guzmán, 1997). La pesca industrial emplea alta tecnología en sus faenas con la finalidad de obtener un mayor rendimiento pesquero para comercializar, mientras que, la pesca artesanal incurre en técnicas tradicionales y ocasionalmente la captura obtenida es

* Correspondencia del autor:
E-mail: dario-pilay@outlook.com



para autoconsumo. La actividad pesquera en Ecuador se desarrolla a lo largo de la línea costera y consta de 153 puertos pesqueros artesanales. En estos se realiza la pesca y comercialización de los recursos acuáticos, en donde se emplean embarcaciones y artes de pesca para la captura de peces demersales (FAO, 2011).

El Viceministerio de Acuicultura y Pesca (2013) indica que, en Ecuador existen ca. 59.616 personas que desempeñan actividades relacionadas a la pesca artesanal. Además, menciona que anualmente el puerto pesquero “Anconcito” ocupa el segundo lugar, después de Manta, con respecto a niveles de desembarque, con una cifra de 4' 609.667 kilogramos.

Una de las especies comerciales desembarcadas en Anconcito es *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848), conocida localmente como merluza (Martínez *et al.*, 2013).

Esta especie es uno de los recursos pesqueros importantes del mar ecuatoriano, está sujeta a una explotación intensiva, que se efectúa con diferentes artes de pesca, para su respectiva comercialización (Tello, 2014).

La merluza se incluye en los grupos demersales con un mayor impacto de explotación y es capturada principalmente con arrastre de fondo, redes de enmalle y palangres (Lloris *et al.*, 2003).

Para comprender la biología de una especie es importante conocer algunos parámetros de su población (Granado, 1996). Los parámetros que se deben considerar son: la talla de madurez sexual, el tiempo y duración del periodo reproductivo (Villacorta-Correa & Saint-Paul, 1999). En la merluza, se ha determinado su madurez sexual entre los meses de marzo y junio (IMARPE, 2013) y en cuanto a la talla de madurez sexual, Cerna y Oyarzun (1998) reportaron una talla media de 38.9 cm de longitud total. Estos parámetros son de importancia relevante para el empleo de métodos de evaluación de stocks y un adecuado manejo del recurso (Parker, 1985).

Materiales y Métodos

Área de estudio

La información utilizada para este trabajo proviene de las capturas de la flota merlucera artesanal que se lleva a cabo en la parroquia de Anconcito, esta se encuentra ubicada al sur oeste de la provincia de Santa Elena, en las siguientes coordenadas: Latitud: 2° 19' 51" y Longitud: 80° 53' 21" (Fig. 1).

Base de datos

Para esta tesis se utilizó la base de datos biológicos-pesqueros del año 2014, proporcionada por el Instituto Nacional de Pesca, en la que se detalla: día, mes, año, puerto, tipo de embarcación, arte de pesca, número de anzuelo, peso, talla, estadio de madurez sexual.

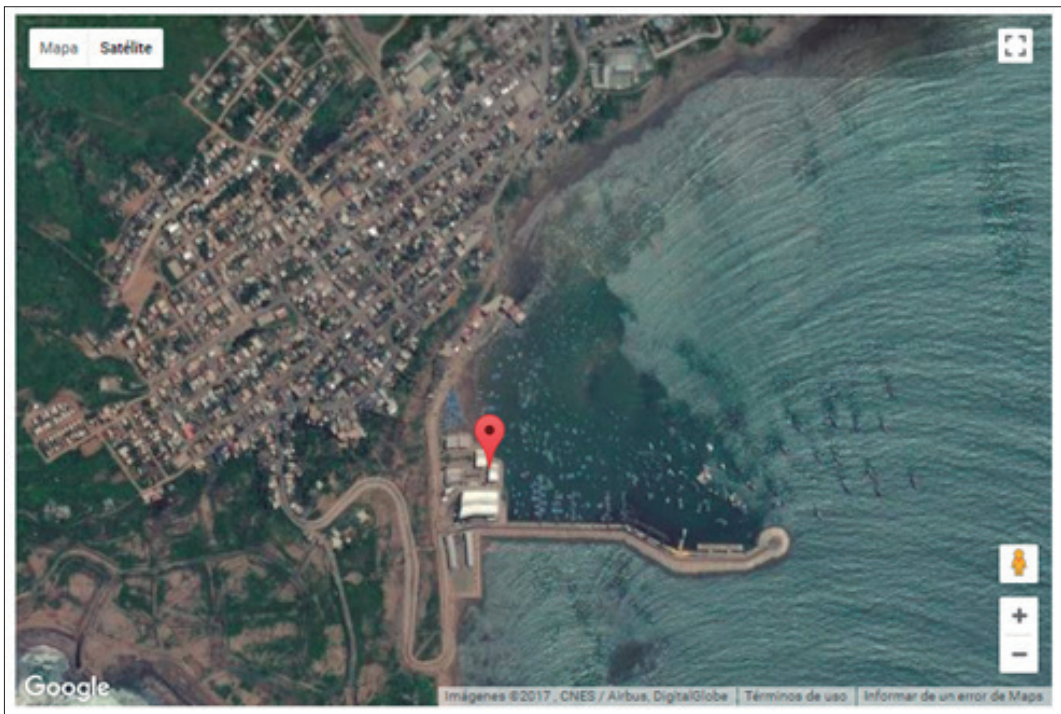


Figura 1. Área de estudio, Puerto Pesquero de Anconcito. Fuente: Google Maps.

Análisis de la información

Aspectos pesqueros

Tipos de las artes de pesca y la embarcación utilizada.

Para la obtención de información sobre los artes de pesca y las embarcaciones más utilizadas por los pescadores artesanales de Anconcito, se realizaron encuestas donde se hicieron preguntas como:

- Tipo de embarcación, número de pescadores que operan en cada embarcación.
- Rutina de la faena.
- Días de pesca en la semana.
- Distancia en millas del puerto a la zona pesca.
- Profundidad en el área de pesca.
- Sitio de pesca y la ubicación geográfica.
- Descripción del arte utilizado en la faena de pesca.
- Tipo y número de anzuelo, carnada.
- Especies objetivas-acompañantes en las capturadas.

Estimación de los desembarques

La capacidad de captura es el producto del esfuerzo de pesca y la eficiencia combinada de los artes de pesca y de la embarcación pesquera (Carrillo, 2009). Mediante el modelo propuesto por Kunslik y Reeves (1994), los volúmenes de desembarque serán considerados en toneladas.

$$C_{ympvgs} = \sum (S_i \times T_i) \times (N_t / N_{ampe}) \times (D_m / W)$$

Dónde:

Cympvgs:	Captura elevada/ embarcaciones activas/mes/especie/ puerto/arte de pesca/embarcación/ año
Si:	Peso de muestreo por puerto/especie/ tipo embarcación/tipo arte de pesca
Ti:	Número de días/embarcación/arte pescando en los últimos 7 días
Nt:	Número de embarcaciones activas durante la semana de muestreo
Nampe:	Número de entrevistas realizadas
Dm:	Número de días en el mes
W:	Número de días de la semana

Aspectos reproductivos

Madurez sexual

Para establecer el grado de madurez sexual se determinó por observaciones macroscópicas de las

Tabla 1. Escala de madurez sexual validada para *Merluccius gayi* (Perea *et al.*, 2015).

Estadios	Hembras	Machos
0	Virginal	Virginal
I	Reposo	Reposo
II	En maduración	En maduración
III	Maduro	Maduro
IV	Desovante	Expulsante
V	En recuperación	Post expulsante

estructuras reproductoras para machos y hembras. El grado de maduración fue asignado siguiendo la escala de madurez gonadal macroscópica validada de merluza (Perea *et al.*, 2015), en la cual según el trabajo antes mencionado existen dos sexos y seis estadios de madurez gonadal (Tabla 1).

Proporción sexual

La proporción sexual se calculó en porcentaje de hembras en relación con machos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$PS = \frac{\sum H}{\sum M + \sum H}$$

Dónde:

$\sum H$ = Número de hembras por LT

$\sum M$ = Número de machos por LT

Mientras que la existencia de diferencias estadísticas en la relación ideal 1:1 entre machos y hembras se basó a partir del estimador de Chi cuadrado con corrección de Yates.

Talla media madurez sexual

La talla media de madurez sexual (TMMS) se estimó de acuerdo al criterio L50, considerando individuos maduros, relacionados a la longitud total agrupada en clases de talla. Se utilizó el modelo de función logística, considerando como maduro a los ovarios en estado superior a previtelogénico:

Dónde:

P (l): es la proporción de madurez

β_1 y β_2 : son los parámetros de la función logística.

$$P(l) = \frac{1}{1 + e^{(\beta_1 + \beta_2 * l)}}$$

El cálculo deriva de la siguiente expresión que representa la talla a una proporción de madurez dada:

Dónde:

β_1 , β_2 : son constantes del modelo (parámetro de intercepto y pendiente),

P: corresponde a la proporción de madurez

Lp: representa la longitud a una proporción de madurez dada por Hosmer y Lemeshow (1989).

$$l_p = \frac{1}{\beta_2} \ln \left(\frac{1}{P} - 1 \right) - \frac{\beta_1}{\beta_2}$$

Con la expresión anterior es posible determinar la talla de primera media de madurez sexual asumiendo que $P=0,5$, así la expresión anterior se simplifica y se reduce a:

$$l_{50\%} = -\frac{\beta_1}{\beta_2}$$

Finalmente, el intervalo de confianza asintótico es obtenido utilizando el método Bootstrap percentil, a través de la técnica de simulación Monte Carlo incluida en el algoritmo MATSIM (Roa y Tapia, 1998).

Estimación del índice gonadosomático (IGS)

El índice gonadosomático (IGS) se estimó con base a la relación entre el peso total de las gónadas y el peso total del pez. Este índice permite obtener el grado de madurez sexual del individuo (Vazzoler, 1996).

$$IGS = (Wg / Wt) * 100$$

Donde:

Wg: Peso de la gónada

Wt: Peso total del pez

Resultados

Aspectos Pesqueros

De los datos analizados encontramos que 66 embarcaciones son fibra de vidrio (Fig. 3) utilizadas para la pesca artesanal, estas presentan como característica principal su tipo de propulsión que es fuera de borda de 75 HP.

Este tipo de embarcación presenta las siguientes medidas:

- Eslora comprendida entre los 7,20 - 10,00 m.
- Manga comprendida entre 1,20 - 2,30 m.
- Puntal o costado comprendidos entre 0,48 - 1,38m.

Los pescadores artesanales utilizan el arte de pesca llamado espinel de fondo, que comprende una línea larga (línea madre), una serie de ramales y brazolas, en la que colocan un anzuelo que por lo general es de tipo J y de número 9 (Fig. 4).

Para la pesca, los artesanos se dirigen hacia zonas ya muy conocidas por ellos, una de estas es la llamada "La manteca", ubicada geográficamente en ($2^\circ - 8^\circ$). Este viaje puede durar alrededor de 2 a 4 horas. La distancia navegada puede variar desde las 20 a 75 millas.

Captura de la Merluza

La pesca artesanal de merluza empieza a tempranas horas por la mañana, debido a que los pescadores utilizan gran parte de su tiempo al preparar y equipar el arte de pesca espinel de fondo, colocando los anzuelos de tipo "J" y de número 9, que por lo general suelen ser entre 800 a 4.000; seguido colocan las carnadas, las que pueden ser: botellita, chuhueco, calamar, pez aguja, pámpano o pinchagua.

La embarcación comúnmente utilizada es una lancha de fibra de vidrio, teniendo como característica

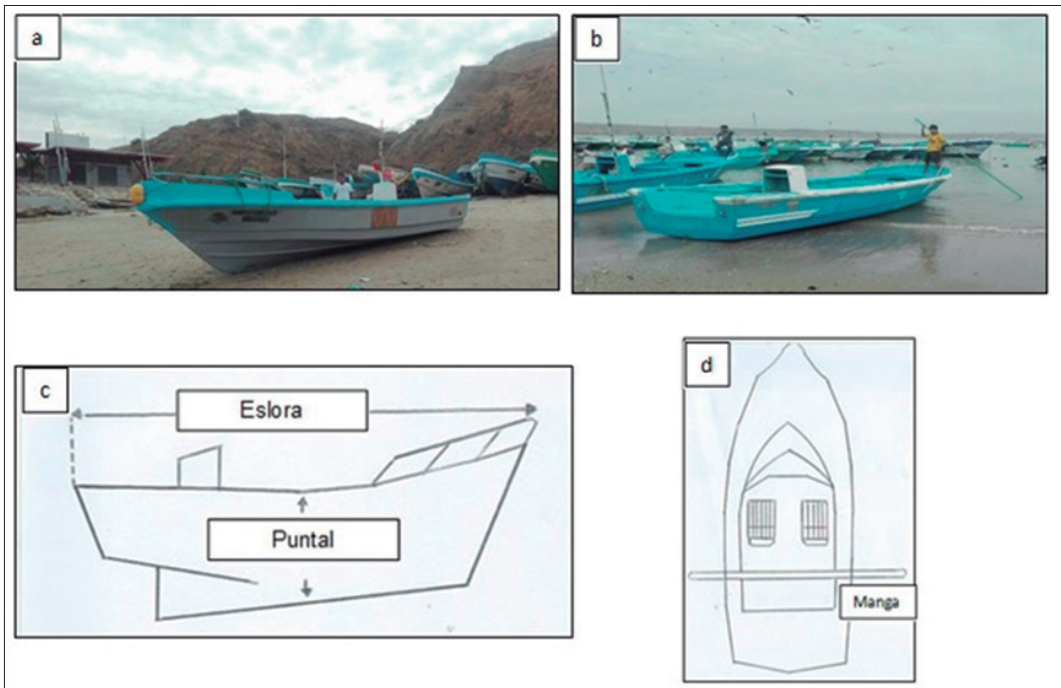


Figura 3. Embarcaciones de fibras de vidrio en el Puerto de Anconcito (a y b). Dimensiones y denominaciones de la embarcación (c y d).

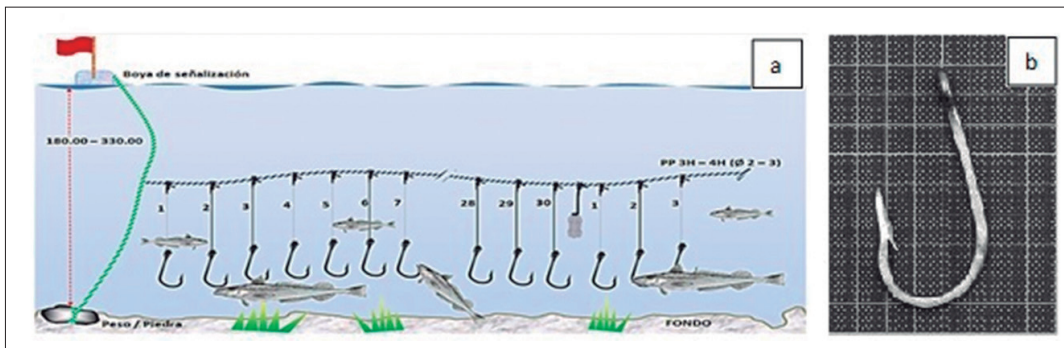


Figura 4. (a) Arte de pesca espinel horizontal de fondo. Fuente: INP. (b) Anzuelo tipo "J" de #9. Fuente: Mituhasi y Hall, 2011.

principal su propulsión a fuera de borda, con un motor que tiene una potencia de 75 hp, siendo tres el número de tripulantes a bordo de la misma. Dicha pesca se realiza a una distancia cercana a las 800 millas y con una profundidad que oscila entre 60 y 200 bz (109.7 y 365.76 m).

El número de lances que realizan los pescadores es de uno a seis, pero mayormente haciendo tres lances diarios. El tiempo que dura la pesca es alrededor de 13 horas, para luego hacer la recogida y dirigirse a la "caleta", que en este caso es el puerto de Anconcito.

Desembarque

La (Tabla 2) nos muestra que el mes de marzo es donde hubo menor cantidad de desembarque para la merluza, lo contrario se mostró en septiembre que fue el mes donde se registró un mayor número de desembarque.

Composición de la captura de fauna asociada

La fauna asociada presentó tres órdenes (Ophidiiformes, Perciformes, Scorpaeniformes), siendo Perciformes el orden más representativo con sus familias Malacanthidae y Serranidae, esta última estuvo presente con cuatro especies (Tabla 3). El porcentaje total de especies capturadas de la fauna asociada, ubica a la gallineta (*Prionotus stephanophrys*) y a la anguila (*Ophichthus remiger*) con un mayor porcentaje, siendo menores el cabezudo y cherna (*Caulolatilus affinis* y *Mycteroperca* sp.).

Aspectos Reproductivos

Madurez sexual

En general, los estadios que predominaron tanto en hembras como en machos durante el periodo de estudio fueron el V, seguido por el III. Cabe indicar que los diferentes estadios de madurez estuvieron presentes en todo el periodo de análisis (Fig. 5).

Proporción sexual

Con un total de 1899 merluzas durante el periodo de estudio, 630 machos y 1.269 hembras, en total, la proporción de sexos (Macho: Hembra) fue de 1:2,01, dando como resultados la existencia de más hembras que machos en los meses muestreados (Tabla 4). La prueba χ^2 con corrección de Yates estableció que existen igualdades estadísticamente significativas.

Talla media de madurez sexual

La talla a la cual el 50% de la población se reproduce se estableció para las hembras en 31 cm de longitud total, observándose ejemplares maduros a partir de los 25 cm (Fig. 6).

Índice gonadosomático

Se determinó el incremento mensual del IGS en ambos sexos de la merluza (Fig. 7). Dando como resultado que las hembras tienen dos picos máximos en los meses de octubre y marzo, mientras que para los machos los picos máximos se presentaron en los meses de septiembre, marzo y octubre.

Tabla 2. Total de desembarque de la flota artesanal merlucera en el puerto pesquero de Anconcito en el 2014.

Meses	Merluza (t)
Febrero	255,91738
Marzo	133,80388
Junio	341,229762
Julio	51,9404762
Septiembre	630,019385
Octubre	346,56571

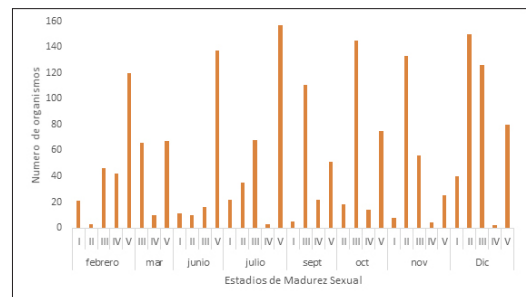


Figura 5. Estadios de madurez sexual de *Merluccius gayi* (sexos combinados).

Tabla 3. Porcentaje de la fauna asociada en el desembarque de *Merluccius gayi* en el puerto de Anconcito, provincia de Santa Elena.

Orden	Familia	Especies	Porcentaje (%)
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Brotula clarkae</i>	1,7
Perciformes	Malacanthidae	<i>Caulolatilus affinis</i>	0,2
Perciformes	Serranidae	<i>Diplectrum maximum</i>	1,2
Perciformes	Serranidae	<i>Hemanthias peruanus</i>	2,0
Ophidiiformes	Ophidiidae	<i>Lepophidium negropinna</i>	0,8
Perciformes	Serranidae	<i>Mycteroperca sp.</i>	0,2
Ophidiiformes	Ophichthidae	<i>Ophichthus remiger</i>	7,3
Perciformes	Serranidae	<i>Paralabrax humeralis</i>	2,7
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Pontinus sierra</i>	3,2
Scorpaeniformes	Triglidae	<i>Prionotus stephanophrys</i>	79,7
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Scorpaena sp</i>	1,0

Tabla 4. Proporción sexual de *Merluccius gayi*.

Hembras	Machos	Total	H:M	X ² Yates
1269	630	1899	2,01: 1	0,00466534

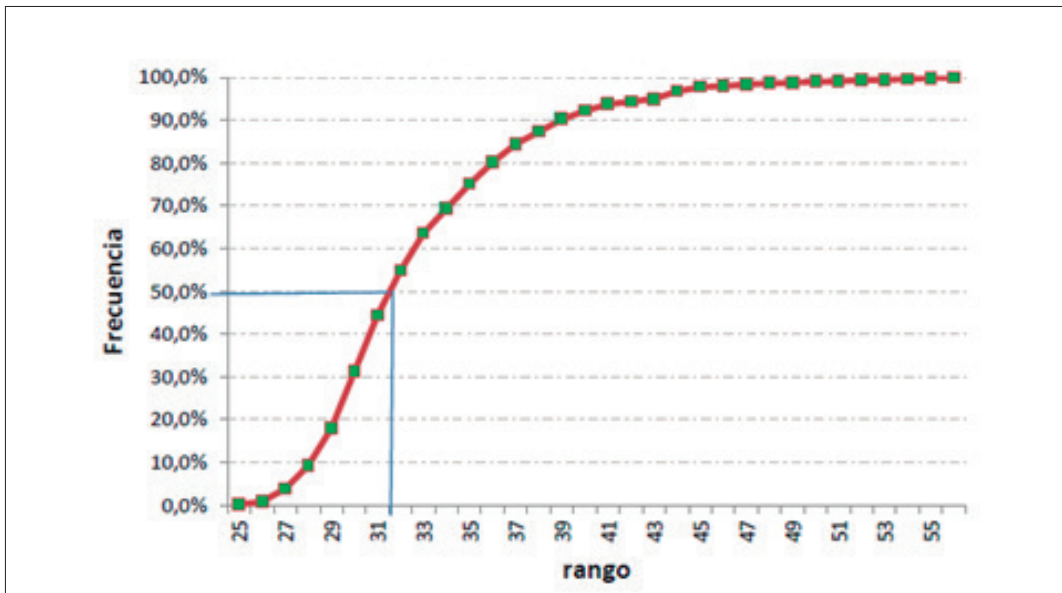


Figura 6. Representación gráfica de talla media de madurez (hembras) de *Merluccius gayi*.

Discusión

El presente estudio determinó que la embarcación más utilizada para la realización de la pesca artesanal es el bote fibra de vidrio, coincidiendo con Leante y García (2012), quienes realizaron una descripción

de los aspectos pesqueros de la caleta Anconcito, donde indican que entre las embarcaciones más utilizadas se encuentran la fibra de vidrio. Los pescadores eligen este tipo de embarcación debido a que es sencilla, de fácil manejo y las condiciones de navegabilidad a motor son excelentes. La pesquería

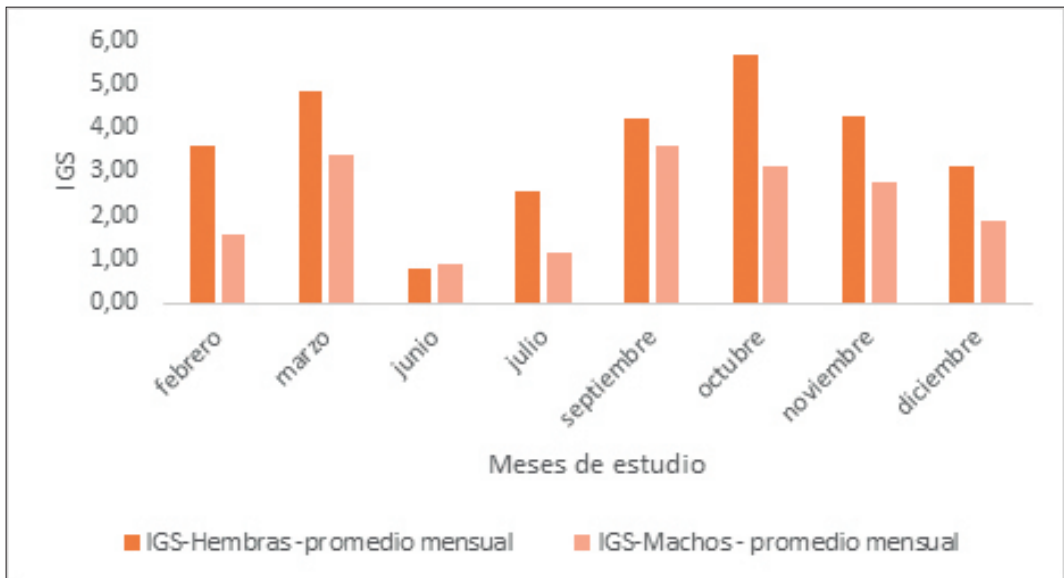


Figura 7. Representación mensual del IGS en *Merluccius gayi* para ambos sexos.

artesanal de merluza se realiza principalmente utilizando el arte de pesca llamado espinel de fondo. Leante y García (2012), Barcia (2014) y Nieto (2014) concluyen que el espinel de fondo es el arte de pesca más utilizado para la pesquería artesanal en la captura de peces demersales. Esto podría deberse a los conocimientos generacionales sobre esta pesca debido a que los materiales utilizados son empíricos lo que facilita la maniobra.

Martínez *et al.* (2013) mencionan que tanto para hembras como para machos, durante el estudio se reflejó que el estadio III fue el que predominó, mientras que Herrera *et al.* (2007) señalan que los estadios III y IV se presentaron mayormente en ambos sexos a diferencia de Toledo (2017) debido a que en su investigación, el estadio más presente para hembras fue el III no siendo el mismo resultado para los ejemplares machos que presentaron el estadio IV como el de mayor porcentaje. En los resultados obtenidos el estadio de mayor presencia se discrepa con otros autores ya que en esta investigación los estadios III y V fueron los que más predominaron en ambos sexos.

El 33.25% fueron machos y 66.75% hembras, este resultado concuerda con el obtenido por Fernández *et al.* (1998), Guevara-Carrasco *et al.* (2001), Zambrano (2013) y Canal (1988), quienes concluyen en sus respectivos estudios que hubo una mayor presencia de hembras en comparación con los machos, a diferencia de Toledo (2017), que menciona que los machos predominaron con un 62.8%, mientras que las hembras obtuvieron el 37.2%.

Por lo que se refiere al IGS, Canal (1988) menciona que el más alto se obtuvo durante los meses de julio y septiembre, Alarcón *et al.* (2008) mencionan que

en los años 2000, 2005 y 2006 el mes con máximos de valores de IGS fue octubre. En el presente estudio se establece que en los meses donde el índice gonadosomático fue mayor fueron marzo, septiembre y octubre.

Conclusiones

- En el puerto de Anconcito la pesca es exclusivamente artesanal, las embarcaciones que se utilizan son botes de fibra de vidrio.
- Los organismos son capturados con el arte de pesca llamado espinel de fondo.
- Los estadios que predominaron durante el periodo de investigación para machos y hembras fueron III (sexualmente maduro) y V.
- La proporción de sexo no se alejó significativamente de la esperada 2,01:1.
- La talla de madurez del 50% de la población de *Merluccius gayi* quedó determinada en 31 cm para hembras.
- El índice gonadosomático mostró una tendencia de crecimiento mensual similar para hembras y machos. El porcentaje más alto se presentó durante los meses de marzo y octubre para las hembras, mientras que en machos se presentó en los meses de marzo y septiembre.
- La gallineta *Prionotus stephanophrys* es la especie de mayor captura en la fauna acompañante.

Recomendaciones

- Ejecutar evaluaciones sobre aspectos reproductivos de la merluza *Merluccius gayi* en otros puertos donde se realicen desembarques.
- Realizar monitoreos permanentes de las poblaciones de la merluza *Merluccius gayi* en la costa de Ecuador, para obtener información más

precisa de su ciclo reproductivo y mejorar el manejo de este recurso.

- Desarrollar estudios adicionales de la merluza *Merluccius gayi* en otras poblaciones que se encuentren en diferentes rangos latitudinales.
- Realizar estudios de la biología reproductiva del *Prionotus stephanophrys*, debido a que esta especie presentó el mayor volumen en cuanto a captura en la fauna asociada.

Referencias

- Alarcón, R., Balbontín, F., Aguayo, M., Ruiz, P., Núñez, S., Herrera, G., Claramunt, G., y Sepúlveda, A. (2008). Biología reproductiva de merluza común. Informe Final Corregido Proyecto FIP 2006-16. 292 pp.
- Barcia, J. (2014). Evaluación de la Pesquería de Peces Demersales y su Relación con los Artes de Pesca en La Zona de Desembarque de Puerto López, Octubre 2013 - Marzo 2014. (Tesis de Grado). Universidad Estatal Península De Santa Elena. Facultad De Ciencias Del Mar.
- Canal, R. (1988). Reproducción de la Merluza (*Merluccius gayi* peruanus) frente a Paita, Perú, entre 1971 y 1988. Instituto del Mar del Perú, Apartado 22, Callao, Perú.
- Cerna, J. & Oyarzún, C. (1998). Talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en merluza común, *Merluccius gayi* (Guichenot, 1848) del área de la pesquería industrial de la zona de Talcahuano, Chile. Invest. Mar., Valparaíso, 26: 31-40.
- FAO. (2011-2017). Perfiles de Pesca y Acuicultura por Países. Ecuador (2011). Hojas de datos de perfiles de los países. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Roma.
- Gobierno Autónomo Desconcentrado Parroquial de Anconcito (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Anconcito 2015. Elaborado por Santa Elena E.P.
- Granado, C. 1996. Ecología de Peces. Editorial Mac-Graw Hill. Bogotá, Colombia 45:115- 200pp.
- Guevara, R., González, A., y Rodríguez, A. (2001). Características biológicas de la merluza (*Merluccius gayi* peruanus) en otoño de 2000. Inf. Inst. Mar Perú 160:37-42.
- Herrera, M., Peralta, M., Coello, D., Cajas, J., Elías, E., León, J., y De la Cuadra, T. (2007). Estimación de la Biomasa de los Recursos Demersales en el Golfo de Guayaquil (Junio 2007). Instituto Nacional de Pesca. Boletín Científico y Técnico (2010), 20 (9): 1-27.
- Leante Darricau, D, y García Marugán, Laura Alba (2012). Proyecto para el desarrollo de las comunidades pesqueras de la República del Ecuador. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Navales (UPM), Madrid.
- Lloris, D., Matallanas, J., y Oliver, P. (2003). Merluzas del mundo (Familia Merlucciidae). Catálogo comentado e ilustrado de las merluzas conocidas. FAO Catálogo de Especies para los Fines de la Pesca. No. 2. Roma, FAO. 57 p.
- Mituhasi, T. y Hall, M. (2011). Anzuelos utilizados en la pesca artesanal con palangres en el Océano Pacífico Oriental. Comisión Interamericana del Atún Tropical. La Joya, California.
- Nieto, D. (2014). Descripción de la Pesca con Espinel de Fondo en el Puerto Pesquero de Anconcito, Provincia de Santa Elena. (Tesis de Grado). Universidad Estatal Península De Santa Elena. Facultad De Ciencias Del Mar.
- Parker, K. 1985. Biomass model for the egg production method. In: R. Lasker (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS, 36: 5-6
- Tello, J. (2014). "Relación: longitud vs. edad de *Merluccius gayi* durante Octubre 2013 - Marzo 2014" (tesis de grado). Universidad Estatal Península. Ecuador.
- Toledo, J. (2017). Aspectos reproductivos de la merluza (*Merluccius gayi*) en la estación lluviosa en el Golfo Guayaquil. (Tesis de maestría). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias de Ciencias Naturales. Ecuador.
- Viceministerio de Acuicultura y Pesca (2013). Sistema de indicadores socioeconómicos del sector pesquero artesanal de la costa continental ecuatoriana consolidado (Fase I+ Fase II+ Fase complementaria). Información no publicada.
- Villacorta-Correa, M. & Saint-Paul U. 1999. Structural indexes and sexual maturity of tambaquí *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae) in central Amazon, Brasil. Rev. Brasil. Biol 59 (4): 637-652.
- Zambrano, D. (2013). Estudio de la relación de la biomasa con los grados de madurez sexual de la merluza (*Merluccius gayi*) capturado fuera de la plataforma continental y desembarcado en el puerto pesquero de Anconcito, provincia de Santa Elena (trabajo de grado). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias de Ciencias Naturales. Ecuador.

Normas para la publicación de artículos “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”

Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”

La Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, es una revista científica-académica de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil. Su objetivo es contribuir a la producción científica, su socialización y debate, en el ámbito de las Ciencias Naturales y Ambientales. La publicación es semestral en los meses de julio y diciembre.

Los autores pueden someter sus trabajos a la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, en español o inglés. Deben asumir los siguientes lineamientos, los artículos que no lo sigan serán rechazados o devueltos para que se realicen las correcciones pertinentes:

Tipos de artículos

1. La Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales publicará artículos sobre diversos aspectos de las Ciencias Naturales, pudiendo ser de cuatro tipos:

- De investigación, que reportan investigación básica original relacionada con los campos de las ciencias antes descritas, usando enfoques cualitativos, cuantitativos o mixtos.
- De revisión, que contribuyan al progreso de la producción de conocimiento en alguno de los campos de las ciencias antes descritas. Se trata de manuscritos orientados a sintetizar investigación científica previa, a discutir problemas metodológicos o conceptuales.
- De discusión, que contribuyan a la discusión de los diversos aspectos de las Ciencias antes descritas.
- De ensayo.

No se publicarán artículos que expresen exclusivamente opiniones, anécdotas o interpretaciones no fundamentadas.

Originalidad

2. Los trabajos deben ser originales e inéditos. No deben haber sido presentados en otra editorial simultáneamente.

Componentes de los escritos

3. La estructura de los documentos presentados contendrán los siguientes apartados:

a) Título

- b) Resumen
- c) Palabras clave
- d) Introducción
- e) Materiales y métodos
- f) Resultados
- g) Discusión
- h) Conclusiones
- i) Recomendaciones
- j) Referencias

4. El “Título” debe incluir la siguiente información:

- a) Título del artículo, éste debe estar en Español e Inglés.
- b) Nombre completo del autor o de los autores; éste debe tener un sólo apellido, en caso de incluir el apellido materno los dos apellidos deben estar unidos con un guión, por ejemplo: Torres-Pinto.
- c) Nombre y dirección completa de la institución, centro de estudio o trabajo actual a la que pertenece y posición que desempeña, incluyendo números telefónicos y correo electrónico.

Los datos personales facilitados por los autores a esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito.

- 5. El resumen debe estar escrito en español e inglés y no debe superar las 200 palabras. Éste debe resumir la información sobre el propósito, objetivos e hipótesis del trabajo, así como su procedimiento, resultados y conclusión.
- 6. Después del resumen se indicarán cuatro palabras clave en español e inglés, esas deben de estar escritas en orden alfabético según cada idioma. Con este fin se utilizará el Tesoro de la UNESCO (Consulte en: <http://databases.unesco.org/thesp/>).
- 7. Las referencias deben de incluirse todas y únicamente las publicaciones citadas en el texto.

Normas de estilo

- 8. Los trabajos deben ser compatibles con Microsoft Word. La extensión no debe superar las 7.000 palabras, incluyendo el título, el resumen, las referencias bibliográficas, tablas y figuras.
- 9. Deben estar configurados en formato A4, con letra Times New Roman de 12 puntos con interlineado de 1,5, a una columna, justificado al margen izquierdo.

* Correspondencia de la revista:

E-mail: revistacienciasnaturales@ug.edu.ec



10. Para la entrega del documento, las tablas y las figuras deben estar aparte del archivo, no incluido.
11. Las imágenes, las fotografías en blanco y negro deben tener una resolución mínima de 300 dpi, las fotografías a color deben tener una resolución mínima de 600 dpi y las ilustraciones o dibujos en blanco y negro deben tener una resolución de 1.200 dpi. en formato .jpg, .tiff, .raw o psd.
12. Las tablas deberán estar en excel o algún editor de hojas de cálculo.
13. Se recibirán un máximo de 5 figuras y 5 tablas por artículo, salvo resolución editorial para casos particulares.
14. Toda tabla y figura debe estar citado dentro del texto del manuscrito.
15. Las leyendas de las tabla o figuras, se deben colocar al final del documento, después de la bibliografía, debidamente numeradas.
16. Para la redacción de los trabajos los autores deberán apearse a las pautas del Manual de Estilo de Chicago de acuerdo con los siguientes ejemplos:

Cuando se haga referencia de manera general a una obra, se escribirá el apellido del autor, el año de publicación y el número de página, dentro de un paréntesis: (Alberti, 2002), o en el caso de dos autores (Rodríguez y García: 1998); si son más de dos autores se anotará (Sánchez *et al.*, 2003).

En el caso de citar obras del mismo autor publicadas en el mismo año, esas se ordenarán alfabéticamente y se les distinguirá con una letra minúscula después del año: "La poesía no puede sacar partido del arrepentimiento, pues no bien se plantea este último, el escenario es interno" (Kierkegaard, 1992a)... "Un momento así exige tranquilidad, no debe ser perturbado por la reflexión" (Kierkegaard, 1992b). Se debe citar en orden cronológico.

La bibliografía debe estar escrita en el mismo sistema, ordenada alfabética y cronológicamente según corresponda. No usar mayúsculas continuas. Los apellidos y nombres de los autores deben estar completos, es decir, no deben anotarse solo abreviaturas. Como norma general, los títulos de libros se reseñarán en cursiva; y los títulos de artículos con tipografía normal; véanse los siguientes ejemplos:

Para revistas:

- Van Beusekom, C. F. 1971. Revision of *Meliosma* (Sabiaceae) section *Lorenzanea* excepted, living and fossil, geography and phylogeny. *Blumea* 19: 355-529.
- Johnson, L. A. S. & B. G. Briggs. 1975. On the Proteaceae: The evolution and classification of a southern family. *Bot. Jour. Linnean Soc.* 70:83-182.

Para libros:

- Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Edición revisada. Tropical Science. Center. San José, Costa Rica.

- Pennington, T. D. 1997. *The genus Inga, Botany*. The Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom.
- Jørgensen, P. M. & S. León-Yáñez. 1999. *Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador*. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75: 1-1181.

Para series monográficas:

- Berg, C. C. 1998. Moraceae (excl. *Ficus*). *Flora of Ecuador* 60: 1-128.
- Henderson, A. 2000. *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica Monograph* 79: 1-181.

Para capítulos de libros:

- Herrera, W. 1985. Clima de Costa Rica. En: L. D. Gómez (ed.). *Vegetación y clima de Costa Rica*. Vol. 2. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Herrera-MacBryde, O., T. R. Maldonado, V. Jiménez & K. Thomsen. 1997. Osa Península and Corcovado National Park Costa Rica. En: S. D. Davis, V. H. Heywood, O. Herrera-MacBryde, J. Villa-Lobos & A. C. Hamilton (eds.). *Centres of Plant Diversity. A guide and strategy for their conservation* Vol. 3, World Wildlife Fund, International Conservation Union.

Para referencias a sitios web:

Para publicaciones disponibles en línea:

- Bestland, E. A. & G. Retallack. 1994. *Geology and paleoenvironments of the Clarno unit, John Day Fossil Beds National Monument, Oregon. Final report*. http://www.nps.gov/history/history/online_books/joda/besttland-retallack1/index.htm Consulta Agosto 2014.

Para publicaciones disponibles en línea que están en permanente actualización:

- Stevens, P. F. 2001, en adelante. Angiosperm Phylogeny Website. Version 9, June 2008 [en actualización continua]. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

Para páginas web de instituciones:

- The New York Botanical Garden (NYBG). Consulta 2010. *The C. V. Starr Virtual Herbarium* <http://sciweb.nybg.org/science2/VirtualHerbarium.asp> The New York Botanical Garden, Bronx, New York.

En caso de haber dos o más publicaciones de un mismo autor:

- Cornejo, X. 2009. Two new species of *Pentagonia* (Rubiaceae, Hippotidae) from Colombia and Ecuador. *Novon* 19:25-31.
- . 2010. *Pentagonia lanciloba*: A new Rubiaceae (Hippotidae) from northwestern Ecuador. *Brittonia* 62:7-11.

En caso de haber dos o más publicaciones de un mismo autor y durante el mismo año, agregar un literal después del año:

Cornejo, X. & H. H. Iltis. 2008a. The reinstatement of *Cappariastrum* (Capparaceae). *Harvard Pap. Bot.* 13:229-236.

---- & ----. 2008b. A revision of the American species of the genus *Crateva* (Capparaceae). *Harvard Pap. Bot.* 13:121-135.

Proceso editorial

17. El documento recibido por el editor responsable pasa por dos procesos de selección:
 - a) El primero se lleva a cabo en el Consejo Editorial Interno, quien determinará la pertinencia y solvencia científica del manuscrito.
 - b) El segundo proceso lo realiza el Consejo Editorial Externo, según el sistema de revisión por pares (doble ciego). En el caso de resultados discrepantes se remitirán a un tercer dictamen, el cual será definitivo.
18. El Consejo Editorial notificará a los autores la decisión de los evaluadores en cuanto a la aceptación, solicitud de revisión o rechazo del artículo.
19. Si el artículo es aceptado para la publicación, los editores combinarán los comentarios de los revisores con sus propias observaciones editoriales y regresarán el manuscrito al autor principal para su revisión final. Para su aceptación final, el autor debe entonces realizar las correcciones y cambios necesarios. Usualmente el tiempo dado para los cambios no será mayor a dos semanas.
20. La coordinación editorial de la revista se reserva el derecho de hacer corrección de estilo y cambios editoriales que considere necesarios para mejorar el trabajo.
21. Una vez diagramado el texto, se enviará una prueba de composición del artículo para corregir errores y su aprobación. En este punto no será posible hacer cambios en el manuscrito, sino solamente corregir errores. El autor debe retornar la prueba de impresión a los editores máximo una semana después de haberla recibido.
22. Si un artículo es publicado en la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, el artículo será subido a la página web: <https://www.revistas.ug.edu.ec/index.php/cna>

Declaración de responsabilidad

23. Como parte del proceso de envío, se requiere que los autores indiquen si sus envíos cumplen con las siguientes indicaciones:
 - a. El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación al Editor responsable).
 - b. El fichero enviado está en formato Microsoft Word o compatible, y no tiene una extensión superior a 7.000 palabras.
 - c. El texto tiene interlineado 1.5; el tamaño de fuente es 12 puntos y el tipo es Times New Roman; y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final.
 - d. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo de la norma Chicago.
 - e. La página "Título" incluye todos los datos identificativos de los autores.

Derechos de autor

24. Las obras que se publican en esta revista están sujetas a los siguientes términos:
 - a. El Servicio de Publicaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil (la editorial) conserva los derechos patrimoniales (copyright - © 2015, Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, Ecuador) de las obras publicadas, y favorece y permite la reutilización de las mismas bajo la licencia de uso indicada en el literal b.
 - b. Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales se publica en versión escrita bajo una licencia <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ec/>. Se pueden copiar, usar, difundir, transmitir y exponer públicamente, siempre que: i) se cite la autoría y la fuente original de su publicación (revista e editorial); ii) no se usen para fines comerciales; iii) se mencione la existencia y especificaciones de esta licencia de uso.

Presentación

25. Los artículos deben ser enviados mediante archivos adjuntos al e-mail: revistacienciasnaturales@ug.edu.ec, con copia al editor responsable: carmenbonifaz@hotmail.com.

Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 12(2)

Características morfométricas de los otolitos de <i>Ophichthus remiger</i> provenientes de la pesquería en la costa ecuatoriana / Morphometric characteristics of otoliths of <i>Ophichthus remiger</i> from the fishery on the Ecuadorian coast	Justhine Guerrero Arias, René Zambrano & Esteban Elías.....	43
Variación de la cobertura vegetal del Parque Nacional Machalilla mediante la evaluación de índices de vegetación en la provincia de Manabí / Vegetation cover changes in the Machalilla National Park through vegetation indices assessment in Manabi province	Marcelo Álvarez & Vinicio Macas	49
Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) de la costa y sierra ecuatoriana / Determination of cadmium levels in maize grains (<i>Zea mays L.</i>) from the coast and Ecuadorian sierra	Joela Condo-Franco & Beatriz Pernía	66
Pesquería artesanal y aspectos reproductivos de merluza <i>Merluccius Gayi</i> en el puerto pesquero de Anconcito en la provincia de Santa Elena durante el 2014 / Artisanal fishery and reproductive aspects of hake <i>Merluccius Gayi</i> in the fishing port of Anconcito in the province of Santa Elena during 2014	Dario Pilay & Antonio Torres	75
Normas para la publicación de artículos “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”		