



Mapeo multiespectral del impacto de piscinas camaroneras al ecosistema de manglar del Golfo de Guayaquil, Ecuador

Multispectral mapping of the impact of shrimp farming pools on the mangrove ecosystem of the gulf of Guayaquil, Ecuador

Jonathan Zhiminaicela-Cabrera^{1,*}; José Quevedo-Guerrero¹; Yimabel Lalangui-Paucar²; Mauricio Mogro-Mendoza³; Joselyn Astudillo-Herrera¹; Xavier Barzallo-Encalada¹

1 Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala, Granja experimental Santa Inés, Av. Panamericana, Machala, Ecuador.

2 Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador, Ciudadela Universitaria Av. América, Quito, Ecuador.

3 Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Av. Circunvalación, Manta, Ecuador.

*Autor corresponsal: jzhiminai1@utmachala.edu.ec (J. Zhiminaicela-Cabrera).

ID ORCID de los autores

J. Zhiminaicela-Cabrera:  <https://orcid.org/0000-0001-9462-9608>

J. Quevedo-Guerrero:  <https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>

Y. Lalangui-Paucar:  <https://orcid.org/0000-0002-0688-9432>

M. Mogro-Mendoza:  <https://orcid.org/0000-0002-3502-4438>

J. Astudillo-Herrera:  <https://orcid.org/0000-0001-7462-5861>

X. Barzallo-Encalada:  <https://orcid.org/0000-0001-8516-5354>

RESUMEN

La producción acuícola ecuatoriana ha tenido crecimiento exponencial a los mercados internacionales, causando de manera directa un incremento en la extensión de hectáreas deforestadas especialmente en las zonas costeras de manglar del país. El objetivo de este estudio fue mapear y estimar el impacto que ha producido la deforestación producto de la actividad camaronera en los manglares del Golfo de Guayaquil, Ecuador. Para ello, se realizó un análisis espacial con imágenes satelitales Landsat de 1985 y 2017, se utilizó el índice espectral NDVI para mapear la cobertura vegetal y NDWI para mapear e identificar las piscinas camaroneras. Además, se realizó un análisis bibliográfico para conocer el posible impacto negativo de la deforestación. Los resultados obtenidos nos permitieron mapear las piscinas camaroneras, convirtiéndose en una posible herramienta para monitorear nuevas actividades de deforestación ilegal. La afectación directa se da en la red trófica produciendo afectaciones en la población que se dedica a la pesca artesanal de *ictiofauna*, *malacofauna* y *carcinofauna*, además degrada la barrera natural contra la erosión y la asimilación de carbono en el planeta aumentando así el efecto invernadero. Ecuador ha perdido aproximadamente 27% del manglar original, especialmente por la producción acuícola, el urbanismo y extracción de recursos naturales en esta región.

Palabras clave: deforestación mangle; actividad antropogénica; degradación forestal; imágenes satelitales; Landsat.

ABSTRACT

Ecuadorian aquaculture production has had exponential growth in international markets, directly causing an increase in the extension of deforested hectares, especially in the coastal mangrove areas of the country. The objective of this study was to map and estimate the impact that deforestation has produced as a result of shrimp farming activity in the mangroves of the Gulf of Guayaquil, Ecuador. For this purpose, a spatial analysis was carried out with Landsat satellite images from 1985 and 2017, the NDVI spectral index was used to map the vegetation cover and NDWI to map and identify the shrimp ponds. In addition, a literature analysis was conducted to understand the possible negative impact of deforestation. The results obtained allowed us to map the shrimp ponds, becoming a possible tool to monitor new illegal deforestation activities. The direct affectation occurs in the trophic network producing affectation in the population that dedicates to the artisan fishing of *ictiofauna*, *malacofauna* and *carcinofauna*, besides it degrades the natural barrier against the erosion and the carbon assimilation in the planet increasing this way the greenhouse effect. Ecuador has lost approximately 27% of its original mangrove forest, especially due to aquaculture production, urban planning and the extraction of natural resources in this region.

Keywords: mangrove deforestation; anthropogenic activity; forest degradation; satellite images; Landsat.

Recibido: 06-09-2020.

Aceptado: 30-09-2020.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de manglar son de vital importancia para la economía, sociedad y política ambiental de un país. Principalmente, por el hecho que los bosques de manglar son sumideros naturales de CO₂, en el que existen una amplia diversidad de especies de mangle alrededor del mundo, conocidos también como árboles halófitos, por su capacidad de habitar en cuerpos de agua semi-cerrados con variada salinidad (Bastos *et al.*, 2018). La principal característica de esta vegetación en la capacidad de adaptación de sus raíces aéreas para sobrevivir a estos ecosistemas adversos. En Ecuador las especies representativas son *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* y *Avicennia germinans* (MAE y FAO, 2014).

La importancia de esta vegetación se debe al servicio ecosistémico, especialmente por ser una barrera protectora contra olas y vientos fuertes (Hernández-Félix *et al.*, 2017). Sus suelos lodosos y ricos en materia orgánica convierte al bosque de manglar en hábitat de importantes especies comerciales, como el cangrejo rojo (*Ucides occidentalis*) y la concha prieta (*Anadara tuberculosa*), además de aves, peces y reptiles (MAE y FAO, 2014). La presencia o ausencia de esta fauna está directamente relacionada con el estado de conservación del bosque.

En América Latina y el Caribe es la vegetación significativa de sus costas, sin embargo, su valor económico, ambiental, social y cultural; históricamente ha sido poco protegido legalmente, por lo cual se han generado daños en sus ecosistemas naturales (Yáñez-Arancibia & Lara-Domínguez, 1999). En Ecuador la degradación de manglares comienza con el inicio del “boom camaronero” y las políticas extractivistas de los gobiernos de turno, además del poco interés por su conservación (Salgado, 2014).

Los principales promotores de su deforestación son: la construcción de viviendas de forma irregular, extracción de materias primas, extracción de recursos naturales, desastres naturales y la actividad acuícola (Yáñez-Arancibia & Lara-Domínguez, 1999; Colditz *et al.*, 2012). Esta

última, es la industria de mayor crecimiento, por lo tanto genera tanto daños ecológicos en el manglar (Argandona, 2016), como conflictos sociales y económicos en las comunidades nativas del Golfo de Guayaquil (Salgado, 2014).

La expansión de la industria camaronera, disminuye la cobertura de manglar y a su vez tiene un impacto en los suelos aledaños por el uso de químicos en las piscinas de producción (Rodríguez-Crespo *et al.*, 2016), además el poco cuidado de la población que genera residuos plásticos, muestra un aspecto poco atractivo, que repercute en la empresa turística, que aprovecha los espacios y riqueza ecosistémica de sus manglares para el fomento de ecoturismo (Larriva Ampuero *et al.*, 2018).

Dentro de estas consideraciones e importancia de los manglares, es importante conocer que las afectaciones son de vital importancia para proponer medidas de mitigación o buscar responsables para sancionar debido a los daños producidos al ecosistema natural. Pues de acuerdo con la legislación ecuatoriana, las zonas de manglar son áreas protegidas que no pueden ser deforestadas.

Reconociéndose la importancia de monitorear los manglares a nivel mundial. Para el mapeo de manglares se realizó un análisis espaciales, mediante el uso de herramientas como la teledetección (Green *et al.*, 1998), basándose en resultados previos, aplicados en zonas de mangle de Perú (Príncipe & Willems, 2018) y Ecuador (Echeverría *et al.*, 2020; Zhiminaicela-Cabrera *et al.*, 2020).

El objetivo de este estudio fue utilizar el índice normalizado de cobertura vegetal (NDVI), para mapear el estado de la cobertura vegetal y el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), para mapear las piscinas artificiales de producción de camarón en las islas e islotes del manglar del Golfo de Guayaquil. Siendo esta una posible alternativa de uso (Tong *et al.*, 2004). Basado resultados favorables para el mapeo de piscinas acuícolas (Béland *et al.*, 2006).

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación estudio la zona costera de manglar del Golfo de Guayaquil, ubicada en las coordenadas geográficas 3°0'0" S Latitud Sur y 80°30'0" W Latitud Norte, perteneciente a la provincia del Guayas, de la República del Ecuador, el cual tiene una extensión de 230 km². Con el objetivo de tener una visión más clara de las afectaciones se utilizó como referencia adicional las islas e islotes (Figura 1).

Esta zona es una de las de zonas de manglar con mayor diversidad genética de especies de fauna y flora para el Ecuador (MAE y FAO, 2014), actuando como barrera natural ante desastres naturales,

para las provincias de Guayas y Santa Elena.

Métodos

Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales fueron, adquiridas del Geoportal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de la Nasa, para ello se utilizaron imágenes Landsat OLI 5 y OLI 8, con el cual se mapeo la incidencia de piscinas en la zona de manglar. Se utilizaron imágenes de 1985 y 2017, descargadas de la plataforma EarthExplorer en el PATH 11 y ROW 62 (Figura 1).

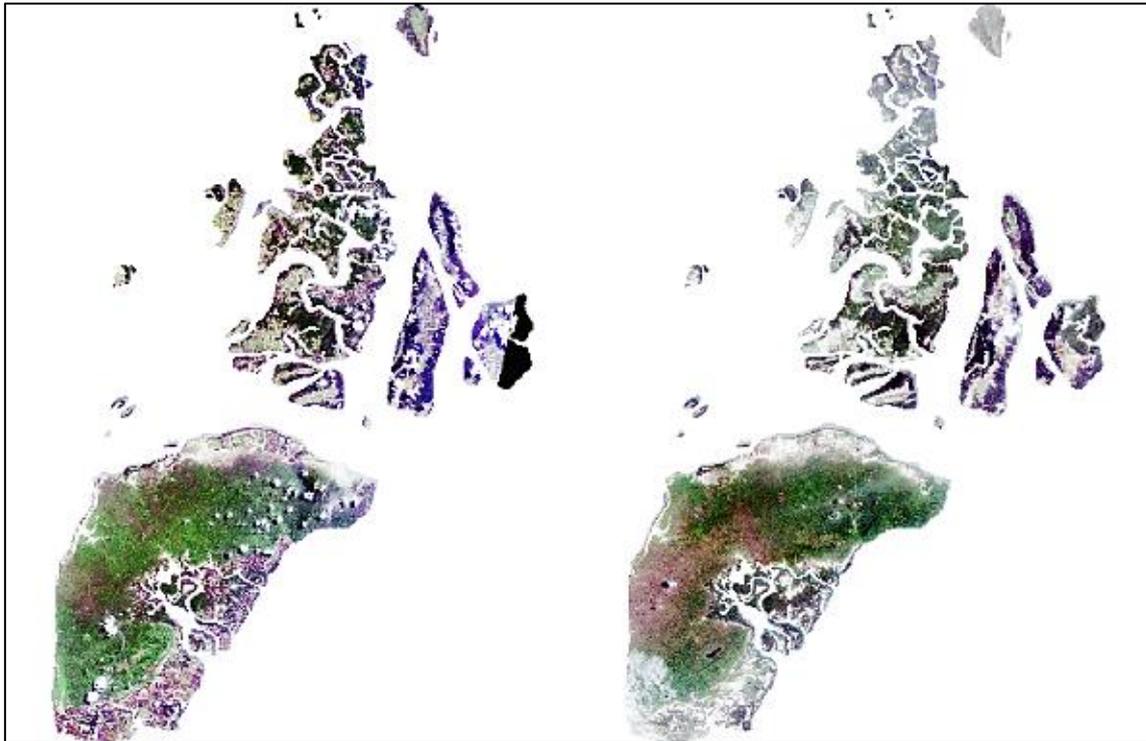


Figura 1. Imagen natural de islas e islotes del Golfo de Guayaquil.

Software

El software utilizado para el procesamiento de las imágenes satelitales fue R, debido a la facilidad de reproducción de la investigación, además como complemento la interfaz de RStudio que es más amigable para realizar el análisis de datos espaciales y permitirá mayor facilidad en la replicación del estudio (Gandrud, 2015).

Mapeo espacio-temporal de manglares

El análisis espacio temporal nos permite conocer los cambios producidos en la vegetación, para ello las herramientas de teledetección son una herramienta que permite realizar estos estudios (Green *et al.*, 1998), siendo así utilizadas para el mapeo de manglares (Echeverría *et al.*, 2020). Permitiendo cumplir los objetivos planteados del mapeo de zonas camaroneras (Béland *et al.*, 2006), las imágenes multiespectrales nos permiten tener una visión más clara para realizar estudios por medio de la combinación de bandas (Camacho-Velasco *et al.*, 2015).

Procesamiento de imágenes satelitales e índices espectrales

La metodología para el procesamiento de las imágenes satelitales y cálculo de índices espectrales fue la descrita por (Zhiminaicela-Cabrera *et al.*, 2020).

Aplicando para ello los índices NDVI los cuales se utilizan para análisis espectrales de la vegetación y permiten visualizar la deforestación en la cobertura vegetal, además del índice NDWI para mapear las piscinas camaroneras con él cual se podrá estimar la degradación de la cobertura vegetal del Golfo de Guayaquil, para el calculado de índices espectrales se utilizó el paquete RStoolbox

de R (Leutner *et al.*, 2017).

Con modificación en la asignación de bandas espectrales debido a las características que varían entre Landsat 5 OLI y Landsat 8 OLI (Tabla 1). Además, se tomó en considerando las respectivas correcciones radiométrica y la reflectancia (Barsi *et al.*, 2014) utilizando el paquete Landsat del Software R (Goslee, 2011).

Tabla 1
Características Espectrales de las bandas de Landsat 5 y Landsat 8

Imágenes Landsat	Fecha	Identificación	Bandas espectrales
Landsat 5	1985-03-27	LT50110621	1.- Blue
		985086XXX0	2.- Green
		4	3.- Red
			4.- NIR
			5.- SWIR
			6.- TIR
			7.- SWIR 2
Landsat 8	2017-03-25	LC08_L1TP_011062_20170325_01_T1	1.- Coastal Aerosol
			2.- Blue
			3.- Green
			4.- Red
			5.- NIR
			6.- SWIR 1
			7.- SWIR 2

La evaluación y aplicabilidad de estos índices espectrales se relación utilizados por (Príncipe & Willems, 2018) evaluando al manglar de Tumbes Perú.

Con modificaciones en su aplicabilidad, pues el NDWI se utilizara para el mapeo de piscinas camaroneras utilizando la teledetección en zonas de manglar (Green *et al.*, 1998), tomando como referencia estudio previos de (Tong *et al.*, 2004).

Análisis bibliográfico

El análisis bibliográfico se realizó con la finalidad de estimar el impacto que ha producido la deforestación de las zonas de manglar para la implementación de piscinas camaroneras y sus consecuencias de manera indirecta. Para ello se utilizó el buscador Google Académico utilizando como palabras clave (Manglares + Camaronera +

Ecuador + Actividad antropogénica) de ahí se filtró entre los que analizaban los efectos al manglar a nivel nacional e internacional en los que la actividad camaronera haya ejercido efectos en el ecosistema natural, análisis documental y los informes presentados por el Ministerio del Ambiente referentes a la deforestación del mangle.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las imágenes espectrales nos permiten conocer el estado de la cobertura vegetal, siendo NDVI el índice de mayor aplicabilidad para conocer el estado de la cobertura vegetal, además nos permite reconocer e identificar por medio del cálculo espectral las zonas con vegetación y su evaluación en el tiempo nos permite conocer si existe una degradación, el índice SAVI tiene una tendencia es su aplicación al igual que NDVI (Ahmed y Akter, 2017). Siendo estos los de mayor aplicación, nuestros resultados nos permitieron visualizar estos cambios, ellos respaldado en los índices espectrales que tienen tendencia negativa.

El mapeo permite revelar estas indicaciones (Figura 2) del índice NDVI en 1985 y 2017, se evidencia mayor degradación en la zona bordes costeros de las Islas e Islotes del Golfo de Guayaquil. Los cambios se presentan a nivel espectral los valores por debajo de 0.43, se considera que es vegetación muerta de acuerdo

(Valderrama-Landeros *et al.*, 2018), donde se aplica el NDVI en análisis multitemporal para conocer los cambios surgidos a la vegetación.

Visualmente y de acuerdo a los valores espectrales negativos de -0.43 a -0.96 en las islas e islotes del manglar del Golfo de Guayaquil se observa cambios especialmente en la zona costera de manglar, esto se debe generalmente a las condiciones que facilitan estos ecosistema para una buena producción de camarón (Salgado, 2014).

Para identificar que estos valores negativos son piscinas camaroneras y evidenciar estos cambios. Para identificar las piscinas camaronera y deforestación se da en la aplicación de índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) que en el caso que se ha aplicado nos permite visualizar el contenido líquido en medio de una área de vegetación (Gao, 1996), permitiendo identificar los cambios en la cobertura vegetal como en el caso de aplicación de (Ahmed y Akter, 2017) (Figura 3.)

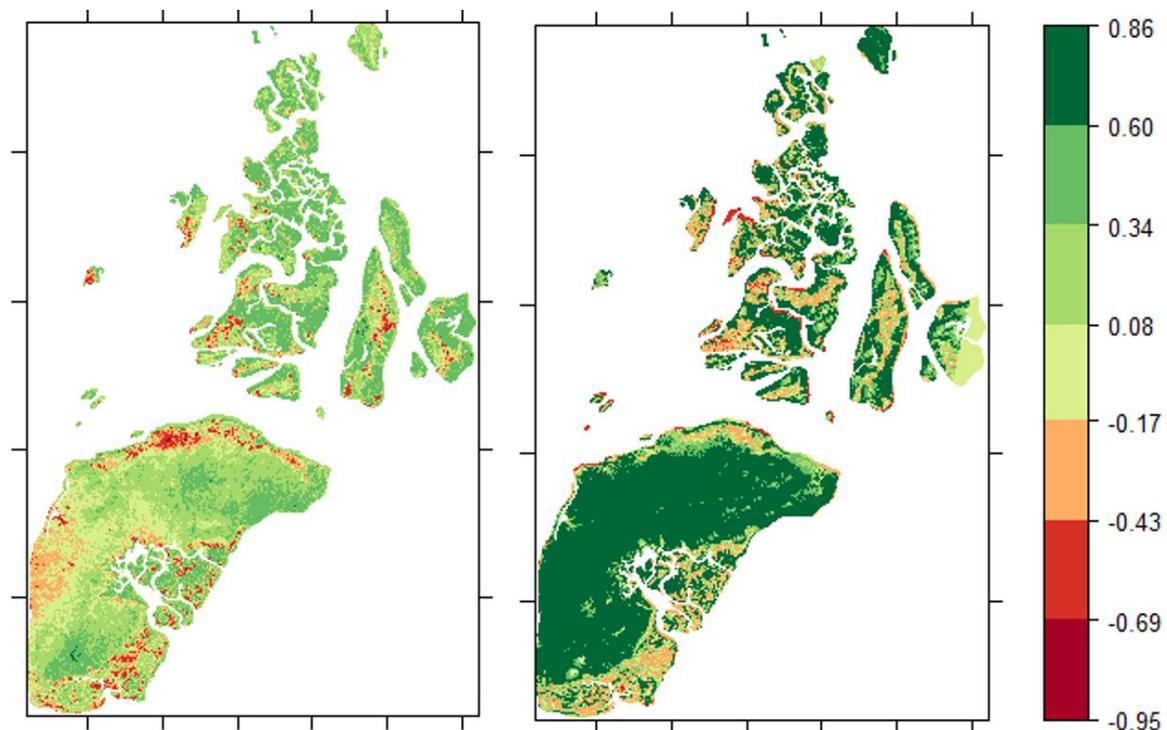


Figura 2. Imagen de 1985 e imagen de 2017, índice espectral NDVI.

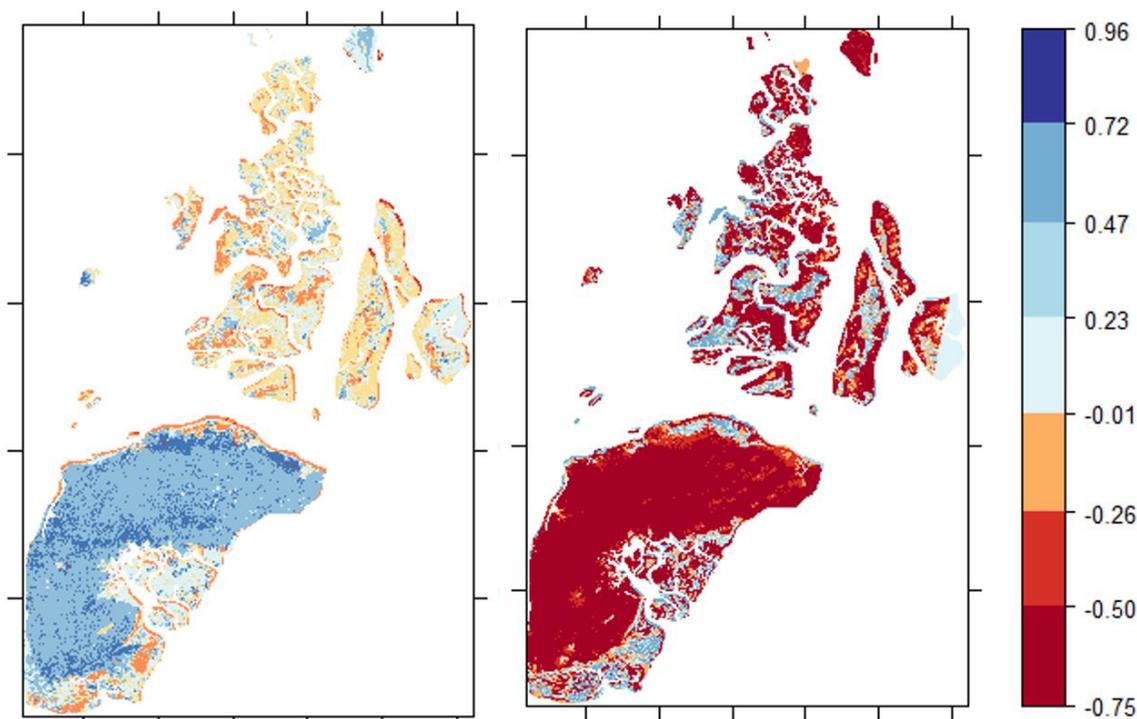


Figura 3. Imagen de 1985 e imagen de 2017, índice espectral NDWI.

Para mejorar el reconocimiento de las piscinas camaroneras se utiliza escalas con valores RdYIBu de la Paleta RColorBrewer, De R pudiendo así visualizar mejor esos cambios. La imagen espectral NDWI, nos permite mapear las piscinas camaroneras debido a las características espectrales (Green *et al.*, 1998; Tong *et al.*, 2004; Béland *et al.*, 2006; Ahmed y Akter, 2017). Utilizar estas características funcionales con el uso del Software R y automatizarlo permite convertir estas características en una herramienta de monitoreo utilizando imágenes satelitales sin costos, un software libre y un algoritmo de fácil aplicación que facilitara su uso.

Del análisis bibliográfico se determinó la afectación directa se da en la red trófica, la cual incrementando su impacto de acuerdo con el aumento en las hectareas deforestada:

- **Consecuencias económicas:** Se va a disminuir la diversidad de especies de plantas y animales que se benefician de esta zona de forma permanente o estacionaria disminuyendo su abundancia y diversidad de especies de interés comercial e impulsores económicos para las poblaciones de la zona en el manglar, además ante eventos ambiental se ven desprotegidas estas comunidades por una barrera natural, que dejarían resultados humanos y económicos

(Sánchez-Moreno *et al.*, 2019; Blankespoor *et al.*, 2017; Menéndez *et al.*, 2020).

- **Consecuencias ambientales:** Amenaza el equilibrio de los ciclos de carbono en el perfil costero. Causando un efecto significati-vamente negativo al potencial que tienen los ecosistemas costeros para acumular carbono y gases de efecto invernadero. Produce la erosión en la costa y la aparición de algas nocivas o floraciones impulsadas por el aporte de nutrientes o la ausencia de inhibidores de crecimiento presentes en las hojas de los árboles de mangle (Pernía *et al.*, 2019; Kauffman *et al.*, 2018; Moity *et al.*, 2019; Echeverría-Ávila *et al.*, 2019; Blankespoor *et al.*, 2017).
- **Consecuencias sociales:** Se produce efecto la economía de las poblaciones produciendo conflictos socio económicos y ambiental con la industria camaronera. La desaparición plazas de trabajo vinculadas con los ecosistemas de manglar y con esto la ruptura de los vínculos ancestrales (alimentación, pesca heredada, explotación responsable, organización comunitaria) que la comunidad tiene con este bosque inundado, a esto se le debe sumar conflictos vinculados a la industria camaronera (Beitl *et al.*, 2020; Rodríguez- Crespo *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos nos permitieron mapear las piscinas camaroneras, convirtiéndose en una posible herramienta para monitorear nuevas actividades de deforestación ilegal. Los mayores daños de acuerdo a las imágenes análisis espectral se observa incidencias en las zonas costeras de las

islas e islotes de la zona de manglar del Golfo de Guayaquil, siendo esta la mayor barrera contra la erosión del relieve costero. La afectación directa se da en la red trófica produciendo afectaciones en la población que se dedica a la pesca artesanal de ictiofauna, malacofauna y carcinofauna, además

degrada la barrera natural contra la erosión y la asimilación de carbono en el planeta aumentando así el efecto invernadero. Ecuador ha perdido aproximadamente 27% del manglar original, especialmente por la producción acuícola, el urbanismo y extracción de recursos naturales. Se recomienda seguir estudiando estos ecosistemas de bosque subtropical utilizando

herramientas de teledetección en zonas de interés biológico y económico de nuestro continente uno de los más degradados y diversos del mundo. Fomentando políticas ambientales, herramientas monitoreo y prácticas de restauración, conservación biorremediación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, K.R.; 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.
- Argandona, L.B. 2016. Sector Camaronero: Evolución y proyección a corto plazo. *FCSHOPINA* 87: 1-7.
- Barsi, J.; Lee, K.; Kvaran, G.; *et al.* 2014. The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager. *Remote Sensing* 6(10): 10232-10251.
- Bastos, A.; Rosas, C.; Correa, D.; *et al.* 2018. Los manglares y su importancia para pesquerías en Quintana Roo. *AvaCient* 5(2): 89-95.
- Blankespoor, B.; Dasgupta, S.; Lange, G.-M. 2017. Mangroves as a protection from storm surges in a changing climate. *Ambio* 46(4): 478-491.
- Beitl, C.M.; Chavez-Paez, W.; Vanegas-Redondo, W.; *et al.* 2020. Socio-environmental Change, Food and Livelihoods in a Rural Mangrove Community. *Investigation Research Review* 13: 89-102.
- Béland, M.; Goita, K.; Bonn, F.; *et al.* 2006. Assessment of land-cover changes related to shrimp aquaculture using remote sensing data: a case study in the Giao Thuy District, Vietnam. *International Journal of Remote Sensing* 27(8): 1491-1510.
- Camacho-Velasco, A.; Vargas-García, C.A.; Rojas-Morales, F.A.; *et al.* 2015. Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana. *Facultad de Ingeniería* 24(40): 17-29.
- Echeverría-Ávila, S.; Pérez-Ceballos, R.; Zaldívar-Jimenez, M.; *et al.* 2019. Regeneración natural de sitios de manglar degradado en respuesta a la restauración hidrológica. *Madera y Bosques* 25(1): 1-14.
- Echeverría, A.; Pachacama, R.; Velasco, D. 2020. Monitoreo Ambiental del manglar en la Isla Puná con imágenes de alta resolución y su influencia en la pesca de Pinchagua (*Opisthonema* spp). 14(2): 21-35.
- Gandrud, C. 2015. Investigación reproducible con R y R Studio. 2da. Edition. Nueva York: Chapman y Hall / CRC. 75 pp.
- Gao, B. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58(3): 257-266.
- Goslee, S.C. 2011. Analyzing Remote Sensing Data in R: The landsat Package. *Journal of Statistical Software* 43(4): 1-25.
- Colditz, R.R.; Acosta-Velázquez, J.; Díaz-Gallegos, J.R.; *et al.* 2012. Potential effects in multi-resolution post-classification change detection. *International Journal of Remote Sensing*, 33(20): 6426-6445.
- Green, E.P.; Clark, C.D.; Mumby, P.J.; *et al.* 1998. Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing* 19(5): 935-956.
- Hernández-Félix, L.; Molina-Rosales, D.; Agraz-Hernández, C. 2017. Servicios ecosistémicos y estrategias de conservación en el manglar de Isla Arena. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 14(3): 427-449.
- Kauffman, J.B.; Bernardino, A.F.; Ferreira, T.O.; Bolton, N.W.; Gomes, L.E. de O.; Nobrega, G.N. 2018. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and Evolution* 8(11): 5530-5540.
- Larriva Ampuero, G.; Hinojosa Moncayo, J. P., & Gutiérrez Northía, A. (2018). Buenas prácticas en el ecoturismo. Caso de estudio: provincia del Guayas, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(1): 150-155.
- Leutner, B.; Horning, N.; Schwalb-Willmann, J.; Hijmans, R.J. 2017. RStoolbox: Tools for Remote Sensing Data Analysis. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/RStoolbox/index.html>
- MAE; FAO. 2014. Árboles y Arbustos de los Manglares del Ecuador. Quito. Editorial MAE.
- Moity, N.; Delgado, B.; Salinas-de-León, P. 2019. Mangroves in the Galapagos islands: Distribution and dynamics. *PLOS ONE* 14(1): e0209313.
- Pernía, B.; Mero, M.; Muñoz, J.; *et al.* 2019. Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador. *Revista de Ciencias Naturales y Ambientales* 10(2): 37-51.
- Príncipe, E.; Willems, B. 2018. Aplicación del Algoritmo de Redes Elásticas en imágenes satelitales. *Revista de Investigación de Física* 21(1): 5-18.
- Rodríguez-Crespo, D.C.G.; Aguirre-León, L.G.; Chiriboga-Calderón, F. 2016. La gestión ambiental empresarial, su función frente a los cambios climáticos globales. *Camaroneras, caso: manglares de Ecuador. Universidad y Sociedad* 8(3): 43-50.
- Salgado, N.R. 2014. Neoliberalismo e industria camaronera en Ecuador. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* 15: 55-78.
- Tong, P.H.S.; Auda, Y.; Populus, J.; *et al.* 2004. Assessment from space of mangroves evolution in the Mekong Delta, in relation to extensive shrimp farming. *International Journal of Remote Sensing* 25(21): 4795-4812.
- Yáñez-Arancibia, A.; Lara-Domínguez, A.L. 1999. Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología AC México, UICN / ORMA, Costa Rica. 8-16.
- Zhiminaicela-Cabrera, J.; Quevedo-Guerrero, J.; Morocho-Castillo, A. 2020. Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8. *Manglar* 17(2): 153-157.