

RESEARCH ARTICLE

Evaluación de las variaciones espaciotemporales en extensión y salud de manglares en Ecuador continental asociadas a la acuicultura mediante índices espectrales.

Gabriela Elizabeth Santana Baque¹ , Yarelys Ferrer-Sánchez¹ , Josselin Valeria Saltos Icaza¹ , Mariuxi Fernanda Cevallos Chevez¹ , Magaly Monserrate Puente Mendoza¹ , Bryan Ricardo Villanueva Pérez¹ , Josthin Alexander Coello Carriel¹ .

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de posgrado, Quevedo, Ecuador.

✉ Correspondencia: gaby92192@hotmail.com  + 593 968407746

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj82215>



Resumen: En Ecuador los monitoreos de manglares in situ tienen limitaciones debido a poco acceso a las áreas de estudio, ante estas condiciones, el uso de información satelital se ha convertido en una herramienta complementaria clave permitiendo una evaluación continua y detallada del estado de salud a lo largo del tiempo de este ecosistema. Este estudio analizo la cobertura en un periodo comprendido entre 1996 y 2024. Se seleccionaron 122 puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente dentro de zonas de manglar del litoral ecuatoriano. En cada punto se extrajeron valores mensuales y anual de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el índice mejorado de vegetación (EVI) comparados de forma anual, mensual y por región, en grupos de observaciones a distancia > 1 km de los manglares para análisis de vegetación costera. Obteniendo a > 1 km un NDVI (0,491) y EVI (0,299) más alto que los de < 1 km (0,442; 0,268 respectivamente). Adicional se observó una tendencia decreciente del área de manglar desde 1996 hasta el 2010, seguida de un aumento gradual desde 2010 hasta el 2019. En 2020 la cantidad de manglares disminuyó. Las zonas acuícolas se expandieron desde el 2000 al 2024. Esmeraldas tuvo un aumento de 97,04 ha, Manabí 705,35 ha, Santa Elena 1.279,18 ha, Guayas 2.484,48 ha.

Green World Journal /Vol 08/Issue 02/215/ May -August 2025 /www.greenworldjournal.com

Cita: Santana Baque, G. E., Ferrer-Sánchez, Y., Saltos Icaza, J. V., Cevallos Chevez, Mariuxi Fernanda , Puente Mendoza, Magaly Monserrate Villanueva Pérez, B. R., & Coello Carriel, J. A. (2025). Evaluación de las variaciones espaciotemporales en extensión y salud de manglares en Ecuador continental asociadas a la acuicultura mediante índices espectrales. Green World Journal, 8(02), 125. <https://doi.org/10.53313/gwj81215>

Received: 15/April/2025

Accepted: 28/May/2025

Published: 30/May/2025

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2025 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

ha y El Oro 1159,8 ha. Se evidencio que la actividad acuícola tuvo influencia en el estado ecológico de los manglares, afectando su productividad primaria y los procesos funcionales del ecosistema.

Palabras claves: ecosistemas costeros, NDVI, EVI, análisis de series temporales, teledetección, monitoreo de mangle.

Temporal variations in mangroves of continental ecuador related to aquaculture using spectral indices

Abstract: In Ecuador, in situ monitoring of mangrove forests has limitations due to limited access to the study areas. Given these conditions, the use of satellite information has become a key complementary tool allowing a continuous and detailed assessment of the state of health of these ecosystems over time. This study analyzed coverage over a period from 1996 to 2024. A total of 122 randomly distributed sampling points were selected within mangrove areas along the Ecuadorian coast. At each point, monthly and annual values of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI) were extracted and compared annually, monthly and by region, in groups of observations at distances $>$ and $<$ 1 km from the mangroves for coastal vegetation analysis. Obtaining at $>$ 1 km a higher NDVI (0.491) and EVI (0.299) than those of $<$ 1 km (0.442; 0.268 respectively). Additionally, a decreasing trend of mangrove area was observed from 1996 to 2010, followed by a gradual increase from 2010 to 2019. In 2020 the amount of mangroves decreased. Aquaculture areas expanded from 2000 to 2024. Esmeraldas had an increase of 97.04 ha, Manabí 705.35 ha, Santa Elena 1,279.18 ha, Guayas 2,484.48 ha and El Oro 1159.8 ha. It was evident that the aquaculture activity had an influence on the ecological state of the mangroves, affecting their primary productivity and the functional processes of the ecosystem

Keywords: coastal ecosystems, NDVI, EVI, time-series analysis, remote sensing, mangrove monitoring.

1. Introducción

Los manglares son ecosistemas costeros fundamentales que ofrecen servicios ecosistémicos esenciales, como la protección contra el oleaje y fuertes vientos, estabilización de sedimentos y provisión de hábitats críticos para numerosas especies [1]. La diversidad y abundancia de fauna en estos ecosistemas está directamente relacionada con su estado de conservación, los convierte en indicadores clave de la salud ambiental costera [2]. Además, los manglares sustentan la pesca artesanal y comercial, ya que son áreas de cría para miles de millones de peces juveniles cada año [3].

Uno de los servicios más relevantes de los manglares es su capacidad para capturar y almacenar grandes cantidades de carbono azul, tanto en su biomasa como en los sedimentos, contribuyendo de manera significativa a la mitigación del cambio climático[4]. Se estima que pueden almacenar hasta 1000 toneladas de carbono por hectárea, superando ampliamente a otros tipos de bosques en su potencial de secuestro de carbono a largo plazo [5]. Esta función es especialmente relevante en el contexto actual de los compromisos globales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [6].

Sin embargo, los manglares en Ecuador enfrentan múltiples amenazas derivadas de la actividad humana,

como la expansión de la acuicultura, el desarrollo costero, sobreexplotación de recursos y la contaminación, especialmente por residuos sólidos y plásticos [7]. La acumulación de plásticos en los sistemas radiculares de los manglares no solo afecta la salud de las plantas al bloquear la luz solar y dificultar la absorción de nutrientes [8], sino que también impacta negativamente en la fauna asociada, como cangrejos y peces, que pueden ingerir microplásticos y transferirlos a la cadena trófica.

La pérdida de manglares a nivel global ha disminuido en las últimas décadas, en parte gracias a esfuerzos de conservación y restauración. Entre 2000 y 2020, la tasa anual de pérdida mundial se redujo de 0.12% a 0.07%, aunque la acuicultura sigue siendo el principal motor de deforestación, responsable del 27% de la pérdida total en ese periodo [9]. En Ecuador, los manglares se distribuyen principalmente en las provincias de Guayas (106176.50 ha), Esmeraldas (25289.59 ha), El Oro (19095.15 ha), Manabí (3526.95 ha), zona marina (1760.48 ha), zona de islas (49.33 ha) y provincia Santa Elena (34.38 ha), lo que resalta la importancia de estrategias regionales diferenciadas para su manejo y conservación.

El marco institucional en Ecuador, respaldado por la Constitución de 2008, el Código Orgánico del Ambiente de 2018 y acuerdos internacionales como el Plan de Acción Regional de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), proporciona una base sólida para la conservación y el uso sostenible de los manglares [10]. Sin embargo, la presión de la antropización y la necesidad de fortalecer la gobernanza local y la educación ambiental siguen siendo retos prioritarios.

Otro de los retos que enfrenta Ecuador es el monitoreo de la salud de los manglares. Este es un desafío logístico debido a la ubicación de estos ecosistemas en zonas intermareales de difícil acceso y a las condiciones ambientales variables. Ante estas limitaciones, los índices espectrales derivados de teledetección se han consolidado como herramientas eficaces para evaluar la salud y el estado de estos ecosistemas, permitiendo analizar la reflectancia espectral de la vegetación y estimar la cantidad de clorofila y otros pigmentos como indicadores de estrés ambiental [11–13]

En este contexto y tomando en consideración las necesidades de información para consolidar estrategias adecuadas para la gestión de los manglares ecuatorianos, el objetivo principal de este estudio fue evaluar las variaciones espaciotemporales en la salud de los manglares del Ecuador continental asociadas a la acuicultura, utilizando índices espectrales. Se caracterizó la salud de los manglares, se analizaron los cambios en los índices espectrales y se estimó el impacto de la actividad acuícola. Los resultados aportan una línea base para el monitoreo en tiempo real y son fundamentales para la preservación sostenible de la ictiofauna y los recursos naturales costeros en el país.

2. Materiales y métodos

2.1. Caracterización de la salud de los manglares a través de índices espectrales

El estudio se realizó en Ecuador continental, en la región costera que cubre las provincias Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro, donde aparecen los manglares costeros del país. Se recopiló información de diversas bases de datos externas, incluyendo la cartografía del Instituto Geográfico Militar (IGM) mediante descargas desde su geoportal(<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>). También se utilizó la base de datos Global Mangrove Watch, que proporciona información vectorial sobre manglares a nivel global, la cual fue empleada como referencia temática para la identificación de los manglares incluidos en el estudio. La plataforma AppEEARS facilitó la extracción de índices EVI y NDVI.

Se utilizaron mapas vectoriales de manglares elaborados a nivel global, disponibles en la base de datos Global Mangrove Watch [14]. Para evaluar la salud de estos ecosistemas, se generaron hasta 122 puntos de muestreo aleatorios en diversas áreas de manglares en las provincias Esmeraldas, Guayas, El Oro, Manabí y Santa Elena. El tamaño de la muestra se determinó en función de varios criterios: áreas de manglar que incluyeran grandes parches de vegetación, asegurando que en cada píxel predominara la vegetación sobre el agua, de modo que se abarcaran todos los parches de importancia relativa a nivel local. Además, se usó una resolución espacial de las variables de 250 m, una distancia mínima de 1 km entre los puntos de muestreo y una separación mínima de 1 km entre los manglares y las zonas de acuicultura. Es importante señalar que el término "manglar" se utiliza en el contexto de la formación boscosa halófila, y no en el sentido más amplio de ecosistema, que incluiría también otras vegetaciones asociadas, cuerpos de agua y terrenos fangosos desnudos que a veces se encuentran dispersos en islotes [15].

Para monitorear la salud de los manglares asociados a la acuicultura en una serie de tiempo, se empleó el producto MOD13A1-061, escena h10v08 del satélite MODIS Terra de 16 días de frecuencia de recorrido y 250 m de resolución espacial [16]. Los datos fueron tomados a través de los servicios de la plataforma AppEEARS (Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples). Este es un sistema de cómputo en la nube que permite acceder a datos precisos, ya preprocesados y listos para su análisis, del centro de datos LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) de la NASA Earth Observing System (AppEEARS Team 2022).

Para acceder a los datos se definieron el intervalo de fechas, la periodicidad y el producto MOD13A1-061, del cual se extraerían los índices EVI (índice de vegetación mejorado) y NDVI (índice de vegetación de diferencias normalizadas). Los datos resultantes contenían la información: coordenadas, fechas, EVI, NDVI, Descripción de la calidad de la información del píxel ("Pixel not produced due to other reasons than clouds",

"Pixel produced, but most probably cloudy", "VI produced with good quality" y "VI produced, but check other QA").

En los datos procesados se crearon nuevas columnas que separaban año y mes. Posteriormente, se filtraron los 64657 datos totales, obteniendo 46167 datos de EVI y NDVI, seleccionando solo aquellos que cumplieran con los valores de control de calidad, es decir, buena calidad del píxel "VI produced with good quality". Además, estos datos fueron filtrados de forma independiente y se eliminó el 5% de los valores extremos [17], por cuanto podrían constituir outliers (por lo que el tamaño de muestra final no fue el mismo entre años).

Estos índices seleccionados son ampliamente usados en el monitoreo de la vegetación por asociarse a numerosos aspectos ecológicos y funcionales de la misma [17]. Particularmente, el NDVI se emplea con frecuencia como medida de la abundancia de áreas verdes, salud de los elementos vegetales y actividad fotosintética. El EVI es un índice que mide la cantidad de vegetación en un área determinada y se calcula en función de la reflectancia de la luz en las regiones roja y del infrarrojo cercano del espectro electromagnético [18]. Los valores del EVI y NDVI van de -1 a 1 [19], donde los valores negativos indican ausencia de vegetación, los valores cercanos a cero suelo desnudo o vegetación senescente y los valores cercanos a 1 vegetación densa con alta productividad [20]. En el contexto de este estudio, los valores del EVI se interpretaron de la siguiente manera: valores bajos ($< 0,2$), moderados ($0,2$ a $0,5$), altos ($> 0,5$) [21]. Las áreas de arena, roca o nieve muestran valores de $0,1$ o menos. La vegetación escasa, como los cultivos senescentes, muestra valores moderados de NDVI de entre $0,2$ y $0,5$. Los valores altos de NDVI de $0,6$ a $0,9$ corresponden a una vegetación densa [22].

Al analizar la salud de cada manglar, en función de los índices espectrales, los puntos de muestreo se dividieron en 62 puntos aleatorios cerca de las granjas camaroneras (< 1 km) y 60 puntos alejados de estas áreas (> 1 km), estos últimos sirviendo como puntos de control. La razón para considerar un punto como "lejano" solo si está a más de 1 km de distancia, se debió a la resolución espacial de la imagen MODIS, que es de aproximadamente 250 m. Esto significa que cualquier punto dentro de 1 km de una granja camaronera probablemente estaría influenciado por la firma espectral de la granja, lo que dificulta distinguir entre la respuesta espectral natural del manglar y el impacto de la granja. Al seleccionar puntos a una distancia de más de 1 km, tendríamos mejor probabilidad de que los datos espectrales recopilados sean más representativos del estado natural del manglar, sin afectarse por las granjas camaroneras cercanas.

Para obtener las áreas de las zonas dedicadas a la acuicultura en el 2000 y 2024, se trabajó en el software Google Earth Pro. A través de la interpretación visual y la delineación manual de polígonos en

función de una serie de atributos, como tonalidad y textura, se crearon los vértices y se digitalizaron las piscinas representativas de la acuicultura. Estos datos vectoriales se transformaron a la extensión shapefile (shp) en QGIS, agregando el nuevo campo de hectáreas y estableciendo la extensión del área. Posteriormente, se generaron los mapas temáticos que demuestran el cambio producido en el periodo de 1996 al 2020.

Toda la información pasó por un proceso de análisis, clasificación y estandarización, con el fin de evitar la duplicidad de información. La información estandarizada en términos de proyección, y todas las capas se proyectaron a UTM-WGS84. Para cada provincia se calculó el área de manglar y los resultados se compararon temporalmente para detectar cambios en el área y la distribución.

El estudio diseñado tuvo como factores a los siguientes cuatro elementos: Provincia (Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro), años (24), meses del año y distancia a zonas acuícolas. Las variables respuesta fueron los índices espectrales EVI y NDVI y el área de los manglares y como variable independiente se obtuvo el área de los polígonos acuícolas.

Todos los datos obtenidos fueron sometidos a las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para verificar el cumplimiento de los supuestos para la aplicación de pruebas paramétricas. Los datos no siguieron una distribución normal (Shapiro Wilk; EVI: $W=0,95$; $p=0,00018$; NDVI: $W=0,93$; $p=0,0001$), por lo que todos los análisis realizados fueron no paramétricos. Se realizó un análisis descriptivo de los datos considerando los estadísticos de tendencia central (media, mediana) y de variabilidad (desviación y error estándar). Se trabajó con un intervalo de confianza del 95%. Los datos se representaron con gráficos de caja (box plot) para visualizar su distribución.

2.2. Cambios espaciotemporales de los índices espectrales en los manglares por provincia

Todos los gráficos se agruparon por provincia, temporalidad y distancia a zonas acuícolas lo que facilitó la comparación e identificación de patrones, así como tendencias en los datos. Además, se realizó un análisis descriptivo detallado de los datos, según la distancia de las camaroneras al manglar. Las categorías de distancia en relación con los manglares: "cercano" (menos de 1 km) y "lejano" (más de 1 km) permitieron evaluar y comparar las características de los índices espectrales en función de la proximidad de los manglares a las zonas de acuicultura.

Se aplicó el Análisis Clúster con distancia euclídeana y método de Ward para agrupar los manglares de Ecuador continental en función de la similitud en cuanto a salud y productividad de estos representadas por los valores del EVI y NDVI. Se representó el dendrograma de similitud. Estos análisis se llevaron a cabo

en el programa Statistica v 8.1 [23]

2.3 Influencia de la expansión de la acuicultura sobre la salud de los manglares

Se realizaron análisis univariados para comparar los índices espectrales entre los manglares utilizando la prueba U de Mann-Whitney. Esta prueba estadística no paramétrica permitió determinar si existían diferencias significativas entre los índices espectrales en función de la distancia a los manglares. Todos estos análisis se realizaron en el programa Xlstat 2024.

Por otra parte, se compararon los índices espectrales de cada región temporalmente a través de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis (KW) que evalúa si todas las muestras provienen de poblaciones con la misma mediana. Además, se analizó la variación mensual utilizando esta misma prueba. Sin embargo, para explicar estos resultados se asumieron dos estaciones climáticas: estación seca (junio-octubre) y lluviosa (diciembre-abril) [24].

3. Resultados

3.1. Caracterización de EVI y NDVI en manglares por periodo de tiempo

En cuanto al conjunto de datos del EVI (Fig. 1), el valor más alto (0,91) se registró en el 2023, indicando una productividad alta. Por otro lado, el valor más bajo del EVI se registró en el 2022, con un valor mínimo de -0.021. Esto sugiere que la productividad de la vegetación en ese año fue baja en comparación con otros.

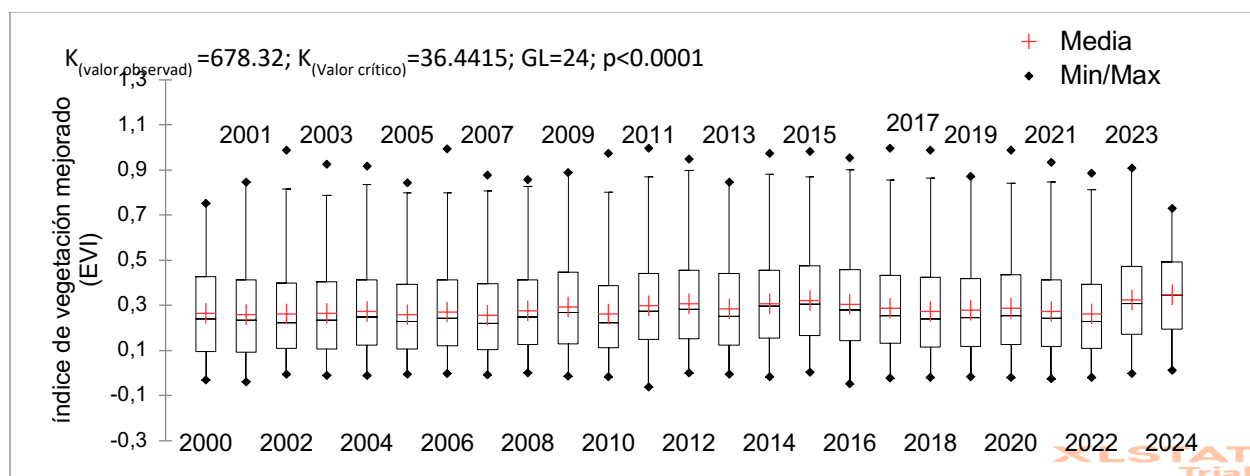


Figura 1. Índice de vegetación mejorado (EVI) en manglares de Ecuador continental por periodo de tiempo del 2000 al 2024

Para el NDVI, el valor más alto (0.97) se registró en el 2024, mientras que en el 2000 fue bajo en

comparación con otros años. En los datos analizados para el EVI y el NDVI durante diferentes meses, se destacaron observaciones significativas. El EVI alcanzó su valor promedio y mediana más altos en abril (0.35), mientras que la mayor varianza (0.035) se registró en junio y julio, indicando mayor variabilidad en estos meses.

Para el NDVI la mediana más alta 0.664 se observó en abril y la mayor variabilidad en los datos de julio. En general, los valores más altos de ambos índices se presentaron en abril y febrero, coincidiendo con la época de lluvias, mientras que los valores más bajos se presentan en agosto y octubre, considerados como periodo seco. Además, el NDVI tuvo valores más altos que el índice EVI en todos los meses.

3.1.1. Variación de los índices espectrales en manglares según la cercanía a camaroneras

En los manglares próximos a las camaroneras ($< 1\text{km}$), los valores de EVI y NDVI variaron a lo largo de los años, con fluctuaciones de la vegetación en estas áreas. En el EVI la media más alta (0.328) fue observada en el 2024 y los valores más bajos (0.241) en el año 2007.

En el NDVI la mediana más baja se presentó en el año 2001 con un valor de 0.191, y la mediana más alta se presentó en el año 2024 con un valor de 0.321. La media más baja se presentó en el año 2007 con un valor de 0.241, y la media más alta se presentó en el año 2024 con un valor de 0.328. La dispersión de los valores de NDVI fueron menores en el año 2022 respecto el año 2011.

En general, se observó una mayor variabilidad en los valores de NDVI que en los de EVI, lo que puede estar relacionado con la heterogeneidad de la vegetación y la presencia de diferentes tipos y estados de vegetación en las diferentes regiones y momentos del año. En resumen, mostró los valores medios de los índices de vegetación EVI y NDVI para diferentes meses del año, y refleja las fluctuaciones estacionales en la cobertura y la salud de la vegetación.

Se observó una clara variación estacional en el NDVI de los manglares adyacentes a las granjas camaroneras, con un pico de 0.579 registrado en marzo, coincidiendo con la época de lluviosa, y su nivel bajo en agosto con un valor de 0.352, correspondiente a la época de sequía; en general, los meses de marzo, mayo y junio presentan valores más altos, caracterizados por lluvias y humedad, mientras que agosto y octubre muestran valores asociados a la sequía.

3.1.2. Variación de los índices espectrales en manglares $> 1\text{ km}$ de las granjas camaroneras

En los manglares alejados de las camaroneras ($> 1\text{ km}$), el EVI mostró que la vegetación en el área de estudio alcanzó su nivel más bajo (0.049) en 2016 y su nivel más alto (0.907) en 2023. La mediana

y la media reflejan una tendencia, similares en 2015 y más bajos en 2000. En cuanto al NDVI, se observó que la vegetación alcanzó su nivel más bajo en 2001 y su nivel más alto en 2009, con una mediana de 0.495 en 2000 y 0.618 en 2015. Los datos también revelaron un patrón estacional claro en la productividad de la vegetación, con el EVI mostrando valores mínimos en noviembre (-0.025) y máximos en abril (0.992), mientras que el NDVI presentó su mínimo en julio (-0.024) y su máximo en febrero (0.998).

Se analizó la variación del área de mangle a través de los años entre 1996 hasta 2020 (Fig. 2) y se observó que el promedio del área de manglares se mantuvo estable a lo largo de los años. Solo se distinguen valores más altos en la cantidad de área de mangle en 1996 y 2007 de ahí en adelante los valores son menores hasta el 2020.

Particularmente, aunque todos los manglares tuvieron una disminución de área entre 1996 y 2020, las mayores pérdidas de manglar se observaron en Santa Elena (pérdida del 34%), Manabí (pérdida del 19%) y El Oro (pérdida del 18%). En Esmeraldas y Guayas se ha perdido entre el 4.5% y 5.5% del área de manglar respectivamente.

La zona de manglares en Ecuador ha disminuido del 2.7% entre 1996 y 2007, pasando de 139963.29 ha a 133243.18 ha. La superficie de manglares se redujo a 128356.01 ha en 2010. Sin embargo, entre 2010 y 2015, la superficie se mantuvo estable, con un ligero aumento en 2016. Aunque hubo una disminución en 2017, la superficie de manglares se recuperó en 2018 y continuó creciendo, alcanzando las 129690.56 ha en 2020, lo que representó un aumento del 0.03% con respecto al año anterior (Fig. 2).

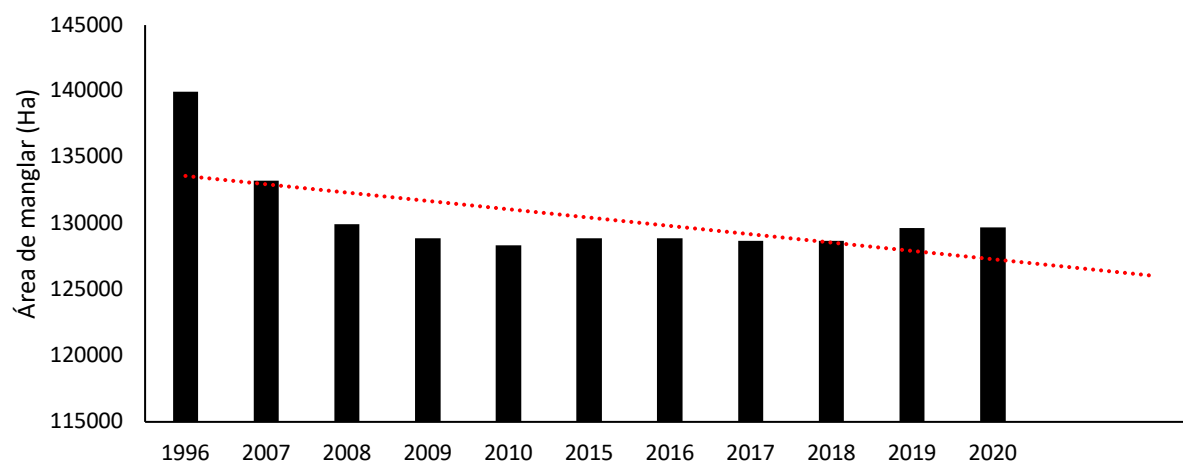


Figura 2. Variación del área de los manglares de Ecuador continental a lo largo del tiempo (periodo 1996–2020).

3.2. Cambios espaciotemporales de los índices espectrales en los manglares por provincia

El análisis de los índices EVI y NDVI mostró diferencias significativas en la productividad de los manglares de Ecuador según la región y la estacionalidad. En Esmeraldas, los años más productivos fueron 2009, 2015, 2023 y 2024 ($p < 0.0001$), con valores máximos entre enero y abril, asociados a la época de lluvias. En Manabí, los mayores valores se registraron en 2002, 2009, 2011, 2015, 2023 y 2024 ($p < 0.0001$), con picos de productividad en febrero, marzo, abril y mayo. En Guayas, los años de mayor productividad fueron 2012, 2014, 2015 y 2016 ($p < 0.0001$), alcanzando sus valores más altos entre marzo y mayo. En El Oro, la mayor productividad se observará en 2015, 2016, 2023 y 2024 ($p < 0.0001$), con los índices más altos en enero, febrero, abril y mayo.

El análisis de agrupamiento que muestra la similitud en cuanto a productividad de estas zonas de manglares costeros a lo largo de la costa ecuatoriana mostró la formación de 2 grandes clústeres, uno que separa a los manglares de Santa Elena del resto de manglares de Ecuador continental (Fig. 3). Dentro del segundo clúster se identificaron dos subgrupos más, uno que resalta las similitudes entre los manglares del Oro y Manabí, y el otro agrupa a los manglares de Guayas y Esmeraldas (Fig. 3).

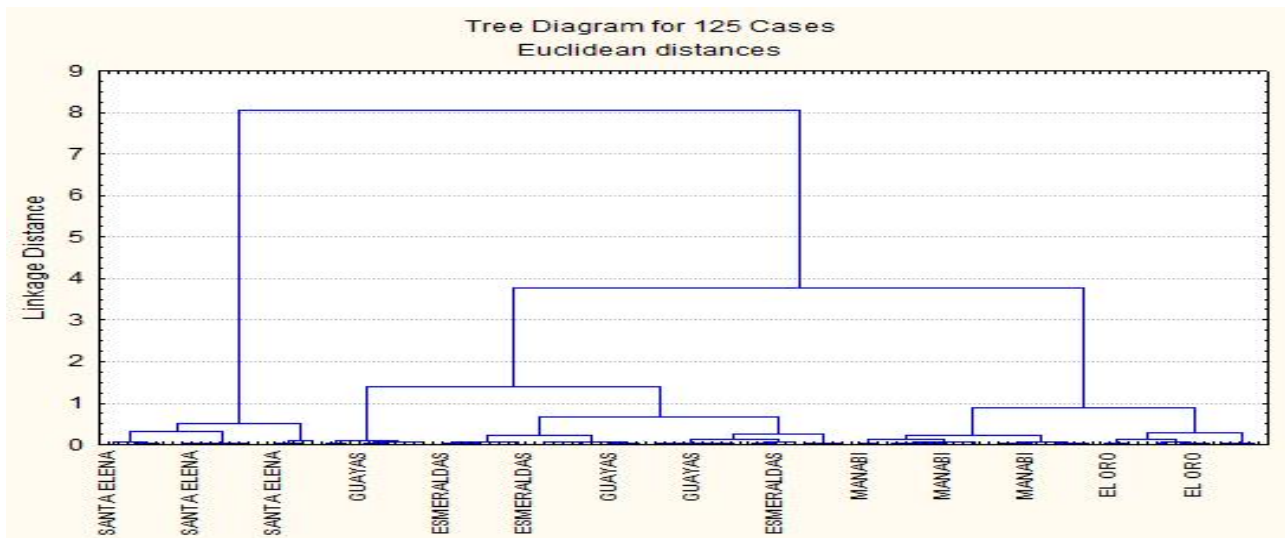


Figura 3. Dendrograma de similitud entre los manglares de la costa de Ecuador continental, en función de los índices espectrales de vegetación (EVI y NDVI).

3.3. Influencia de la expansión de la acuicultura sobre la salud de los manglares

Las provincias costeras del Ecuador experimentaron aumentos de la acuicultura en su superficie de manglares. Esmeraldas tuvo un aumento de 97.04 ha, Manabí de 705.35 ha, Santa Elena incrementó 1279.18 ha. Guayas aumentó en 2484.48 ha, y El Oro obtuvo un crecimiento de 1159.80 ha. Estos cambios reflejan la naturaleza dinámica de la actividad humana en las regiones costeras (Fig. 4 y 5).

Figura 4. Relación de áreas de Manglares de las provincias Costeras (Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro) vs zonas de producción acuícolas, Año 1996

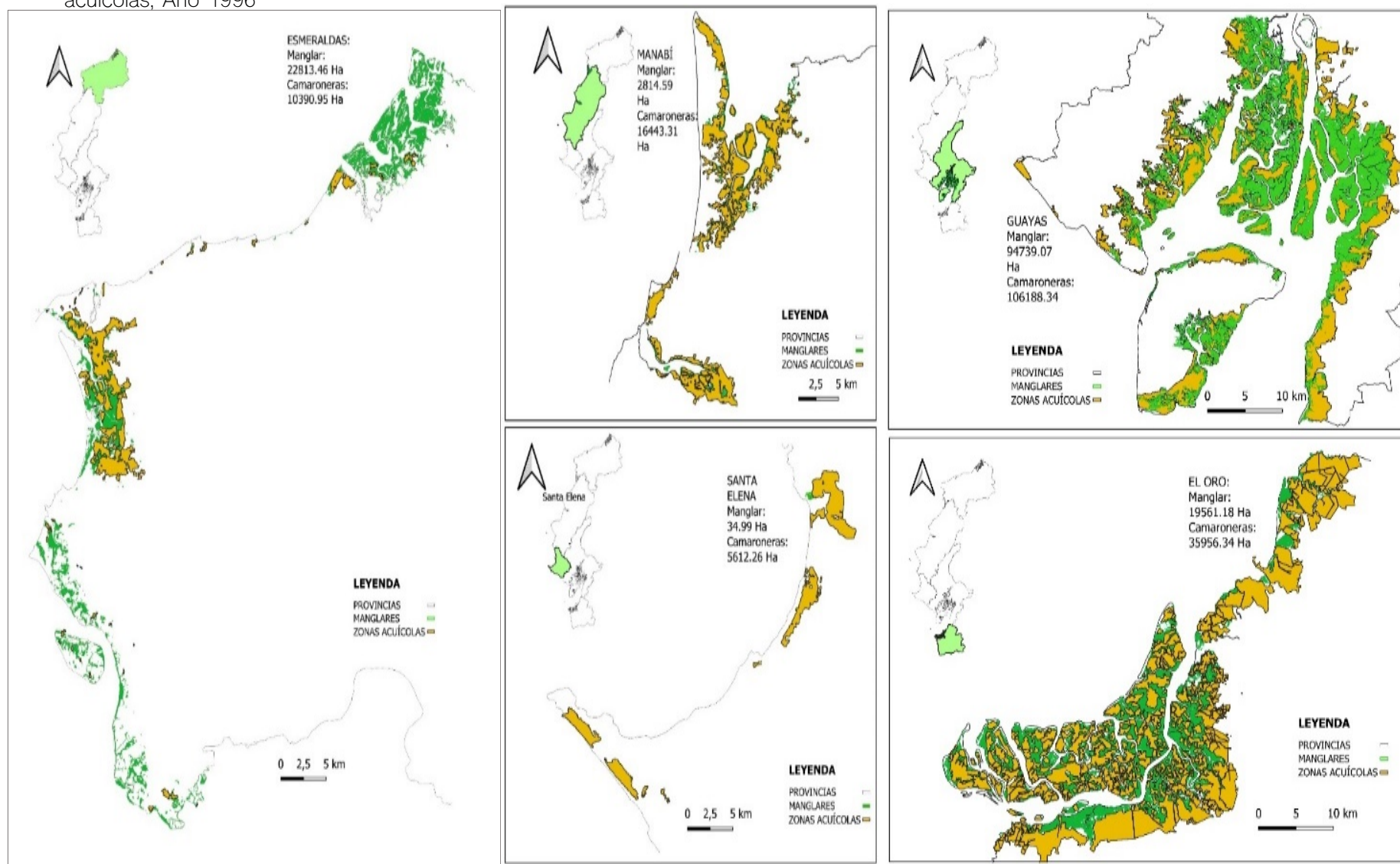
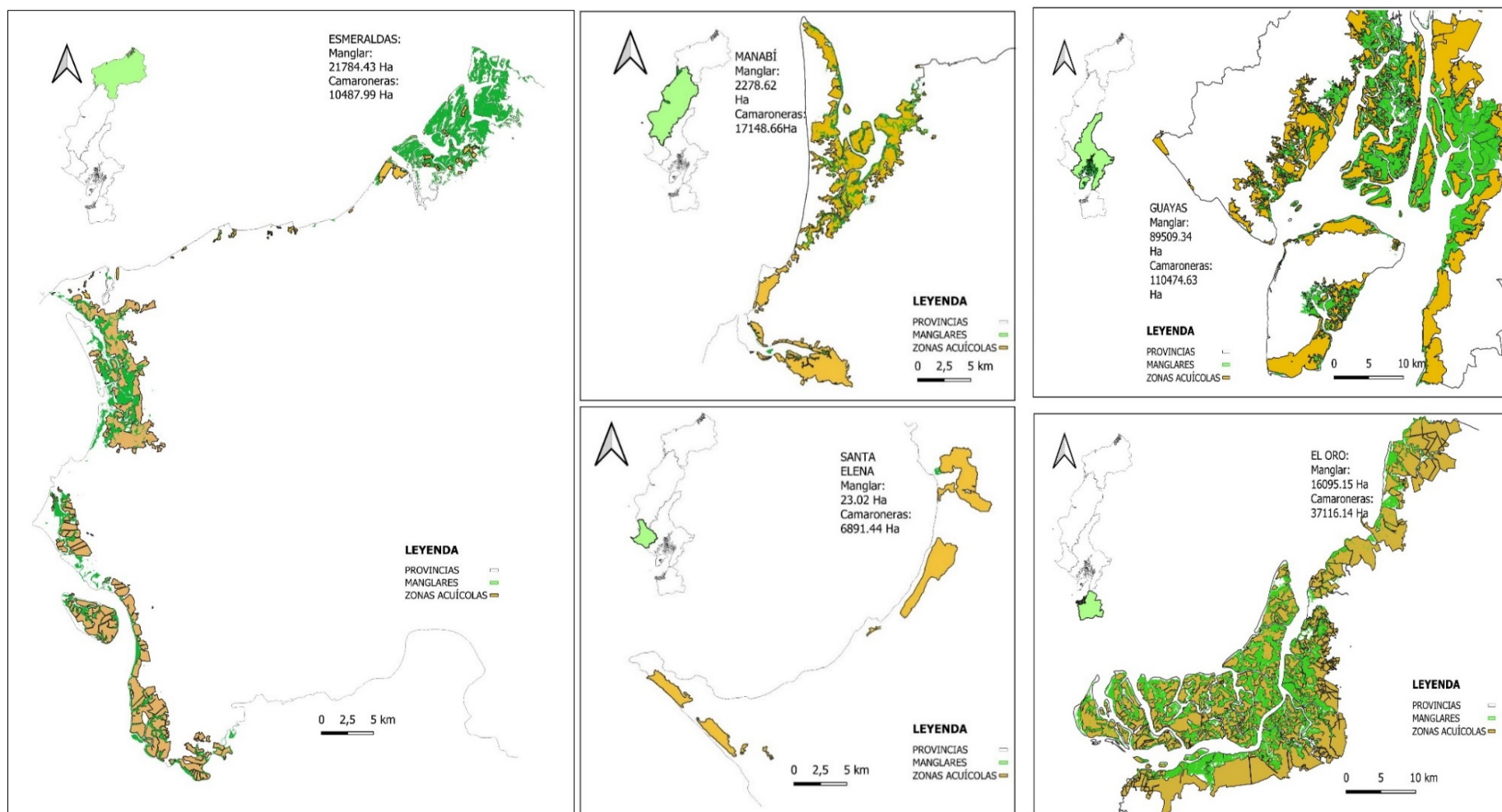


Figura 5. Relación de áreas de Manglares de las provincias Costeras (Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro) vs zonas de producción acuícolas, Año 2024



3.3.1. Área de manglar vs área de camaroneras

La proximidad de los manglares a las camaroneras puede tener un impacto negativo en la vegetación y su salud. Se compararon los valores del EVI a una distancia < 1 km y > 1 km de las camaroneras, los resultados indicaron que los valores de productividad de la vegetación fueron mayores en manglares más alejados ($U = -20.025$; $p < 0.0001$). En el NDVI se observó el mismo patrón, los manglares más alejados de las camaroneras tuvieron valores mayores de productividad. En este caso, el tamaño de efecto fue mayor que las variaciones del EVI entre los dos grupos de manglares analizados ($U = -18.46$; $p < 0.0001$) (Fig. 6).

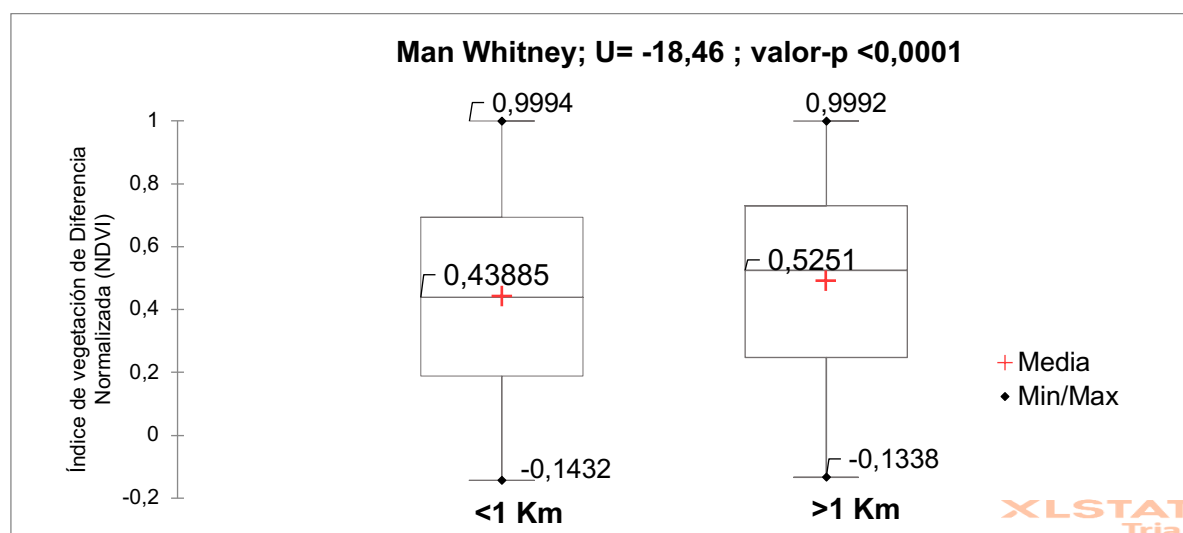


Figura 6. Variación de la productividad de los manglares, medido a través del índice de vegetación mejorado, entre manglares próximos a camaroneras y otros alejados a > 1km

3.3.2. Área de manglar por provincia en estudio vs área de camaroneras

El patrón observado de forma general para la mayor productividad de los manglares más alejados de las actividades de acuicultura se repite en cada provincia. En Esmeraldas se registraron valores de EVI (0.337) y NDVI (0.517) significativamente mayores ($p < 0.0001$) respecto a manglares próximos a camaroneras. En Manabí y el resto de las provincias con manglares sucedió lo mismo, los valores de EVI (0.284) y NDVI (0.462) significativamente mayores ($p < 0.0001$), Guayas: EVI (0.24) y NDVI (0.44) ($p < 0.0001$), El Oro: EVI (0.269) y NDVI (0.488) ($p < 0.0001$) en manglares distantes de las camaroneras. Estos resultados registran que la distancia a las camaroneras este resultado pudo ser influenciado por eventos climáticos extremos temperatura y evapotranspiración (Torres et al. 2023) asociada con una mayor productividad en los ecosistemas de manglares.

4. Discusión

En el presente trabajo se hace una caracterización detallada de las respuestas espectrales de la vegetación de manglar para Ecuador continental, a partir de índices de vegetación. La obtención y el

empleo de los índices espectrales de vegetación es sencilla, pero necesita de mayor esclarecimiento debido a que no son de interpretación directa o intuitiva como otras medidas tradicionales de la vegetación [17]. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones de sensores remotos en estudios de vegetación de manglar en Ecuador se enfocan en su mapificación, y no consideran las variaciones de los índices que son un proxy de la productividad del ecosistema, asociadas a la mayor presión antrópica: la acuicultura.

En los manglares localizados a menos de 1 km de las camaroneras, los valores de NDVI y EVI mostraron variaciones significativas a lo largo del periodo analizado, reflejando cambios en la biomasa y vigor vegetal en respuesta a la presión ejercida por la producción acuícola. El EVI presentó su media más alta en 2024 (0,328), posiblemente relacionada con esfuerzos de conservación o cambios en la intensidad de uso del suelo, mientras que el valor más bajo se registró en 2007 (0,241), coincidiendo con una etapa crítica de expansión de las camaroneras.

La disminución en estos índices espectrales puede indicar pérdida de cobertura vegetal, estrés fisiológico en el manglar y degradación del hábitat, lo que a su vez repercute en funciones ecológicas clave como la producción de detritos, la captación de carbono y el sostenimiento de cadenas tróficas asociadas. La proximidad de las camaroneras podría estar provocando alteraciones en la salinidad, calidad del agua y dinámica sedimentaria, afectando la regeneración natural del mangle y la biodiversidad asociada (Nguyen et al. 2022).

La disponibilidad de agua dulce y la ausencia de eventos extremos, como sequías o inundaciones, parecen ser factores clave que influyen positivamente en la productividad de los manglares, tal como lo indican Torres y [25]. Sin embargo, estos resultados también pueden estar condicionados por eventos climáticos extremos, particularmente variables como la temperatura y la evapotranspiración, que afectan la dinámica funcional de estos ecosistemas [26]. Además, se observa que, durante la temporada de lluvias, los manglares presentan una mayor productividad en comparación con los meses secos, lo cual se atribuye a una mayor disponibilidad de agua dulce que reduce la salinidad en el sistema, facilitando la absorción de nutrientes y promoviendo el crecimiento vegetal [27]. No obstante, la variación y disminución de las precipitaciones también pueden limitar el suministro de sedimentos en los manglares estuarinos, reduciendo la producción de hojarasca autóctona, proceso que puede verse afectado por factores como la disponibilidad de agua, la temperatura y el contenido de nutrientes en el suelo [28]. Estas observaciones plantean la hipótesis de que las condiciones climáticas y las alteraciones provocadas por actividades humanas, como la acuicultura, interactúan para influir en la dinámica y productividad de los manglares, evidenciando la complejidad de estos sistemas y la necesidad de considerarlos en estrategias de manejo y conservación.

Por consiguiente, puede verse agravada por las actividades humanas relacionadas con la acuicultura. Estas alteran los flujos naturales del agua, modifican la salinidad y, a través de la descarga de efluentes,

afectan la calidad del agua y la disponibilidad de nutrientes en el ecosistema. Estos cambios inducidos por las camaroneras, en conjunto con las variaciones climáticas, pueden disminuir aún más la disponibilidad de sedimentos y reducir la producción de hojarasca, comprometiendo la protección y función ecológica de los manglares.

La estructura y productividad de los ecosistemas de manglares se ven profundamente influenciadas por las condiciones climáticas, lo que conlleva a variaciones significativas en la biomasa y el crecimiento primario de estas formaciones vegetales. Se ha observado que la productividad de los manglares tiende a disminuir conforme se avanza hacia latitudes más altas. Entre los factores climáticos que limitan la distribución del mangle, destaca el patrón de circulación de aire de Este a Oeste, el cual determina la distribución espacial del mangle a lo largo de numerosas lagunas costeras. Además, la relación a la precipitación es un factor ambiental ampliamente reconocido como limitante en el desarrollo de las plantas, incluido el mangle [29].

El EVI y el NDVI analizaron el comportamiento de la vegetación tanto a lo largo de los años (2000 a 2024) como en las temporadas secas y húmedas en las áreas de estudio (Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y El Oro). El NDVI presenta una mayor precisión en todos los casos, dado que refleja la actividad fotosintética de la vegetación verde viva [30]. Además, la vegetación responde de manera significativa a las variaciones climáticas, especialmente en relación con las precipitaciones. Sin embargo, estas respuestas difieren notablemente entre los distintos tipos de formaciones vegetales.

En particular, en los ecosistemas de humedales, donde el agua generalmente no representa un factor limitante, las respuestas a las precipitaciones pueden ser menos evidentes. Esto podría explicar por qué la estacionalidad marcada en los índices espectrales se manifiesta únicamente durante el ciclo de lluvias, que comienza en enero y finaliza en mayo [31]. Durante este período, se observa una tendencia lineal ascendente en los datos, lo que sugiere un incremento en la cobertura vegetal [32]. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta la diversidad de respuestas de la vegetación ante las condiciones climáticas al desarrollar métodos de monitoreo y gestión de estos ecosistemas. Además, otras variables ambientales, como la humedad del suelo, las precipitaciones y la temperatura, también afectan los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo [15]. Esto contribuiría a una predicción más precisa de la vegetación, facilitando el análisis de la evolución del entorno ambiental [32].

El NDVI es ampliamente utilizado para medir la densidad de la vegetación, pero tiene una limitación importante: pierde sensibilidad cuando hay grandes cantidades de biomasa verde. Esto significa que el NDVI puede producir resultados similares para áreas con baja densidad de vegetación y áreas con densidad de vegetación muy alta, lo que puede llevar a una interpretación incorrecta de los resultados [33]. Una solución es utilizar el índice EVI, como se hizo en este estudio, que es una versión modificada del NDVI diseñada para ser más precisa en áreas con un dosel denso, es decir, estima la producción primaria bruta en vegetación de alta densidad, como bosques y cultivos perennes, lo que la hace más

adecuada para medir la densidad de la vegetación en áreas con alta biomasa verde [34].

Cabe mencionar que una de las principales limitaciones de los índices de vegetación derivados de satélites es la presencia de condiciones de observación adversas, como la cobertura de nubes y fallas de sensores. Sin embargo, mediante el uso de técnicas de reconstrucción de datos y análisis avanzados, es posible superar estas limitaciones y obtener productos de índices confiables y útiles para una variedad de aplicaciones como la empleada en el presente estudio [35]. No obstante, se filtraron y limpiaron los datos cuidadosamente para evitar los errores asociados a estos ruidos.

La presencia de camaroneras en las zonas de manglares puede estar afectando al ecosistema. Se conoce que esta actividad acuícola es la principal impulsora del cambio de los manglares [36]. [37] señalan que la degradación y disminución del ecosistema de manglar en Ecuador se relacionan principalmente con la mencionada actividad. Esto ha llevado a una pérdida estimada del 80% de las reservas de carbono vivo o biomasa de los bosques de manglares en las costas del continente. Esta situación contribuye a la emisión de grandes cantidades de carbono a la atmósfera, acelerando el cambio climático.

Al respecto, [38] explican que el cultivo de camarón en los sistemas de manglares de Esmeraldas reduce la calidad del agua y modifica las características de los sedimentos y sus conjuntos bentónicos. El enriquecimiento orgánico en el agua aumenta durante los meses de verano, mientras que el contenido de materia orgánica en sedimentos disminuye, lo que afecta la función de almacenamiento de carbono de los ecosistemas de manglares.

La comparativa realizada entre el 2000 y 2024 en Ecuador continental ilustra 174 591.20 ha dedicadas a zonas de acuicultura, actualmente hay 180 317.05, es decir, hay un incremento de 5 725.85 ha que se han desplazado en estos últimos 24 años. El manglar proporciona el ambiente propicio para que el producto acuícola prospere ya sea porque ayuda a regular el clima al absorber CO₂ y liberar O₂, estabiliza el suelo y previene erosión, lo que permite mayor estabilidad para las camaroneras [39]. Un punto para mencionar también es la descomposición de la vegetación de manglar, que al producir detritos sirven como alimento para el camarón. Manglares y camaroneras al permanecer por largos lapsos de tiempo juntos les tocó evolucionar, con lo cual se crea dependencia. El mangle crea un hábitat adecuado para los camarones, y los camarones desarrollan adaptaciones para vivir en el mangle [40]. Esto permite una mayor producción de camarón por empresas como Santa Priscila, Songa, Omarsa, Pacific Ocean, Promarismo, Empacreci, Samisa, Exportquilsa, Expalsa y Propemar [41].

También en el periodo de estudio se observaron cambios y disminución del manglar de Ecuador continental, siguiendo el mismo patrón mundial de pérdida cuando se compara con la disminución de manglares en Myanmar, Tailandia y Camboya. Entre la década de 1970 y 2020, se registró una pérdida de 6 830.00 km² de área de manglares, lo que representa un 44% de la superficie total de manglares en los mencionados países. Estas pérdidas estuvieron relacionadas principalmente con la demanda de

desarrollo de tierras, acuicultura, incentivos económicos y fallas de políticas [42]. Aproximadamente el 35% de la superficie mundial de manglares se perdió entre los años 80 y 90, con tasas de deforestación que oscilan entre el 1% y el 8%. Los principales motores de la deforestación de los manglares en los últimos tiempos son la acuicultura, la agricultura, la expansión urbana, la extracción de productos forestales, la conversión de estanques salinos y la industria del petróleo y el gas. El auge de la acuicultura a partir de los años 70 provocó la pérdida de casi el 28% del hábitat en Asia (Bangladesh, India, China, Tailandia, Vietnam e Indonesia) y Sudamérica (Ecuador, Brasil y Perú), pero por países las pérdidas oscilan entre el 7% y el 63% [43]. Sólo en el sudeste asiático, la pérdida de manglares en favor de la acuicultura ascendió aproximadamente al 30% (1,66 millones de hectáreas). El valor económico mundial total de la pérdida de manglares por la acuicultura asciende a 3.780–17.010 millones de dólares anuales. La conversión de los manglares a la acuicultura es una respuesta a la seguridad alimentaria, que se debe principalmente al aumento de la demanda de proteínas y a la disminución de la pesca de captura marina. Sin embargo, esto no está exento de costes, como la destrucción del hábitat, la pérdida de servicios ecosistémicos, la reducción de la calidad del agua, la introducción de especies exóticas y las enfermedades [43].

A partir del 2000 la tendencia de pérdida de manglares se detuvo en Ecuador. Todos los bosques de manglares están ahora protegidos de alguna manera [36]. Se diseñó el Plan de Acción Nacional para la Conservación de los Manglares en Ecuador (Acciones de control forestal, legalización de tierras y ordenamiento territorial), que es una estrategia para la protección del manglar, aprobado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica en 2019. Además de la herramienta jurídica y de conservación denominada Acuerdos de Custodia y Usos Sostenible del Ecosistema de Manglar (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica 2020), existe el Proyecto Binacional de Adaptación, implementado por el Programa Mundial de Alimentos, que apoya a las comunidades afrodescendientes e indígenas awá en la reforestación de manglares en Esmeraldas. El objetivo fundamental es reducir las causas del efecto invernadero y mantener el equilibrio global del CO₂ (World Food Programme 2022). Además, organizaciones como Conservación Internacional y el Proyecto Conservación gestionan mediante la implementación de políticas de conservación y uso sostenible, así como la creación de áreas protegidas que contengan sitios representativos de estos ecosistemas [37].

En Ecuador, las áreas alrededor de los límites de las áreas naturales protegidas no cuentan con un régimen de manejo especial, pero forman parte de los objetivos de manejo de la unidad protegida. Sin embargo, debido a los recursos financieros y humanos limitados, no es posible un control permanente sobre estas áreas, lo que puede llevar a un deterioro de la calidad ambiental en las áreas más cercanas al perímetro de las zonas protegidas [44]. En consecuencia, para revertir esta situación, el estado ecuatoriano podría iniciar un proceso de estímulo a la certificación de actividades con mayor probabilidad de producir impactos ambientales. La certificación de camarón, por ejemplo, puede abrir mercados más exigentes que ofrezcan mayores beneficios económicos a los propietarios de granjas a cambio de mejorar sus prácticas de producción y hacerlas más sostenibles. Esto reduciría los riesgos de

contaminación del agua, las afecciones a otras especies estuarinas y los conflictos con los pescadores artesanales[44], beneficiando al ecosistema de manglar de forma integral.

El crecimiento y expansión del sector acuícola creó una preocupación sobre su impacto en los ecosistemas de manglar. El análisis de la tendencia de la vegetación a través del EVI y el NDVI reveló mayores valores de estos índices en áreas alejadas de las camaroneras que influyen en los manglares. Esto implica que los manglares más alejados de camaroneras tienen mayor productividad. La hipótesis de que el crecimiento del sector acuícola tiene un impacto negativo en los manglares ha podido ser confirmada utilizando únicamente estos índices. Una menor productividad vegetal en las zonas próximas a las actividades acuícolas. La disminución en los valores de estos índices puede considerarse a varios factores relacionados con la presencia de las camaroneras, como la contaminación por descargas de efluentes que contienen nutrientes en exceso, químicos y materia orgánica, los cuales deterioran la calidad del agua y afectan la actividad fotosintética de la mangle. Además, los cambios hidrológicos debido a la construcción de estanques, canales y terraplenes alteran los flujos naturales del agua, provocando variaciones en la salinidad y condiciones de inundación que reducen la salud y vigor de la vegetación. La tala de manglares para la expansión de las camaroneras fragmenta el hábitat, disminuyendo la densidad de la vegetación remanente y reflejándose en índices vegetales más bajos. Finalmente, la remoción de vegetación para la construcción de instalaciones acuícolas puede causar erosión costera y cambios en la sedimentación, afectando la estabilidad y calidad del suelo en que crecen los manglares, reduciendo así su productividad.

5. Conclusión

La caracterización de los índices de vegetación (EVI y NDVI) en los manglares de Ecuador entre 2000 y 2024 revela una variabilidad significativa en sus valores. El NDVI mostro valores más altos y mayor variabilidad relativa en comparación con el EVI. Los valores anuales más altos del EVI fueron observados en el 2023 (0.90) y para el NDVI en el 2024 (0.97). En el análisis mensual, el valor más alto fue en febrero (época lluviosa) para ambos índices y los valores más bajos en agosto y octubre (época seca). Los manglares ubicados en proximidad a las camaroneras presentaron valores en marzo, mientras que aquellos más alejados alcanzaron sus máximos en abril (EVI = 0.99) y febrero (NDVI = 0.90), respectivamente.

El estudio detallado de los índices espectrales de vegetación en los manglares de Ecuador entre 2000 y 2024 evidencia variaciones significativas en su distribución espacio-temporal. Se destacan diferencias entre el EVI y el NDVI en las áreas analizadas, que incluyen Esmeraldas, Manabí, Guayas y El Oro. En términos generales, se observará una mayor productividad en los manglares ubicados a mayor distancia de las actividades acuícolas, particularmente en Guayas, donde los ecosistemas más alejados de las camaroneras registraron valores de índices notables.

La actividad acuícola ejerció una influencia significativa en la condición de los manglares del Ecuador

continental, particularmente en aquellos situados en proximidad a las camaroneras. Esta influencia podría repercutir negativamente en la productividad y las funciones ecosistémicas, dado que los manglares más distantes presentaron valores de productividad vegetal superiores ($U = -0.025$; $p < 0.0001$) en ambos índices analizados: el índice de vegetación mejorado (EVI) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Este patrón fue consistente en todas las provincias costeras evaluadas, que incluyen Esmeraldas, Manabí, Guayas y El Oro.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

6. Referencias

1. París García, N. Prismola (2024). Área de Interiores y Producto TFG 2024.
2. De la Paz Soto, J. Estimación de la altura del dosel en bosques de mangle mediante el uso de sensores remotos. 2021.
3. Leal, M. (ed); Spalding, M. (ed) El estado de los manglares del mundo 2022. 2022.
4. Zeng, Y.; Friess, D.A.; Sarira, T.V.; Siman, K.; Koh, L.P. Global Potential and Limits of Mangrove Blue Carbon for Climate Change Mitigation. *Curr Biol* 2021, 31, 1737–1743.e3, doi:10.1016/j.cub.2021.01.070.
5. Alongi, D.M. Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation. *Sci* 2020, 2, 67, doi:10.3390/sci2030067.
6. Rovai, A.S.; Twilley, R.R.; Worthington, T.A.; Riul, P. Brazilian Mangroves: Blue Carbon Hotspots of National and Global Relevance to Natural Climate Solutions. *Frontiers in Forests and Global Change* 2022, 4, doi:10.3389/ffgc.2021.787533.
7. van Bijsterveldt, C.E.J.; van Wessenbeeck, B.K.; Ramadhani, S.; Raven, O. V; van Gool, F.E.; Pribadi, R.; Bouma, T.J. Does Plastic Waste Kill Mangroves? A Field Experiment to Assess the Impact of Macro Plastics on Mangrove Growth, Stress Response and Survival. *Sci Total Environ* 2021, 756, 143826, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143826.
8. Moniuszko, H.; Malonga, W.A.M.; Koczoń, P.; Thijs, S.; Popek, R.; Przybysz, A. Accumulation of Plastics and Trace Elements in the Mangrove Forests of Bima City Bay, Indonesia. *Plants* 2023, 12, 462, doi:10.3390/plants12030462.
9. O, F.A. The World's Mangroves 2000–2020; FAO, 2023; ISBN 978-92-5-138004-8.
10. Santillán, X.; Rosero, P. PROCESO HISTÓRICO DE CREACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS MANGLARES DEL ECUADOR CONTINENTAL COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN. In; 2019; pp. 89–97.
11. Salas, R.A.S.; Castro, W.J.O.; Cuthbert, M.W. Análisis multitemporal de la cobertura de manglar en la Reserva Cayos Miskitos, 2006–2017. *Revista Universitaria del Caribe* 2019, 22, 61–68, doi:10.5377/ruc.v22i1.8419.
12. Perea-Ardila, M.A.; Leal-Villamil, J.; Oviedo-Barrero, F. Spectral Characterization and Monitoring of Mangrove Forests with Remote Sensing in the Colombian Pacific Coast: Bajo Baudó, Chocó. *Granja* 2021, 34, 26–42, doi:10.17163/LGR.N34.2021.02.

13. Arias, L.L. Un Nuevo Modelo Para La Estimación de La Biomasa Viva y El Carbono Almacenado En Los Bosques de Manglar Usando Sensoramiento Remoto y Aprendizaje de Máquina: Caso de Estudio Tumaco-Nariño; 2023;
14. Bunting, P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R., Thomas, N., Tadono, T., Worthington, T., Spalding, M., Murray, N., & Rebelo, L.-M. (2022).
15. Denis Ávila, D.; Curbelo, E.A.; Madrigal-Roca, L.J.; Pérez-Lanyau, R.D.; Denis Ávila, D.; Curbelo, E.A.; Madrigal-Roca, L.J.; Pérez-Lanyau, R.D. Variación espacio-temporal de la respuesta espectral en manglares de La Habana, Cuba, evaluada con sensores remotos. *Rev Biol Trop* 2020, 68, 321–335, doi:10.15517/rbt.v68i1.39134.
16. Li, Z.; Li, X.; Wei, D.; Xu, X.; Wang, H. An Assessment of Correlation on MODIS-NDVI and EVI with Natural Vegetation Coverage in Northern Hebei Province, China. *Procedia Environ Sci* 2010, 2, 964–969, doi:10.1016/j.proenv.2010.10.108.
17. Denis Ávila, D.; Curbelo, E.A.; Madrigal-Roca, L.J.; Pérez-Lanyau, R.D.; Denis Ávila, D.; Curbelo, E.A.; Madrigal-Roca, L.J.; Pérez-Lanyau, R.D. Variación espacio-temporal de la respuesta espectral en manglares de La Habana, Cuba, evaluada con sensores remotos. *Rev Biol Trop* 2020, 68, 321–335, doi:10.15517/rbt.v68i1.39134.
18. Cámara, B.; García, N.; Hernández, Ma.L. *Experiencias y Saberes Geográficos: Una Reflexión Desde Lo Local*; 2024; ISBN 978-607-8792-38-2.
19. Liu, H.Q.; Huete, A. A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 1995, 33, 457–465, doi:10.1109/36.377946.
20. Shibani, N.; Pandey, A.; Krishan Satyam, V.; Singh Bhari, J.; Ahmed Karimi, B.; Kumar Gupta, S. Study on the Variation of NDVI, SAVI and EVI Indices in Punjab State, India. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2023, 1110, 012070, doi:10.1088/1755-1315/1110/1/012070.
21. Reyes-Díez, A.; Alcaraz-Segura, D.; Cabello, J. Implicaciones del filtrado de calidad del índice de vegetación EVI para el seguimiento funcional de ecosistemas. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección* 2015, 11–30.
22. Benedetti, Y.; Callaghan, C.T.; Ulbrichová, I.; Galanaki, A.; Kominos, T.; Abou Zeid, F.; Ibáñez-Álamo, J.D.; Suhonen, J.; Díaz, M.; Markó, G.; et al. EVI and NDVI as Proxies for Multifaceted Avian Diversity in Urban Areas. *Ecological Applications* 2023, 33, e2808, doi:10.1002/eap.2808.
23. Statsoft, Inc. *Statistica Para Windows (Sistema de Software de Análisis de Datos), Versión 8.0.* 298 Págs. Manual de Programación Informática, Referencia Rápida. Statsoft. Inc., Tulsa. 2008.
24. Schuiteman, M.; Santos, A.; Dominguez-Granda, L.; Kinziger, A.; Marin Jarrin, J. Age and Growth of Larval Pacific Flagfin Mojarra (*Eucinostomus Currani*) in Coastal Ecuador Based on Otolith Analysis (Pdfs in English and Spanish). *Cienc Mar* 2024, 50, doi:10.7773/cm.y2024.3448.
25. Torresa, J.R.; Arreola-Lizárraga, J.A. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE HOJARASCA DE MANGLARES DE MÉXICO. *MEMORIAS ARBITRADAS 2023* 2023, 88.
26. Torres, J.R.; Barba-Macías, E.; Sánchez, A.J. Tres Años de Producción de Hojarasca Del Manglar y Su Relación Con Las Condiciones Ambientales En La Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Ecosistemas* 2023, 32, 2368.
27. López-Rosas, H.; Espejel-González, V.E.; Moreno-Casasola, P. Variaciones Espacio-Temporales Del Nivel y Salinidad Del Agua Afectan La Composición de Especies Del Manglar-Tular. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2021, 8.
28. Romero, A.; Perez, I. *La Biodiversidad: Conceptos, Estatus Actual y Amenazas*; 2023; ISBN 978-9942-960-87-0.

29. Cunill, J.C.; Jiménez-Juárez, N.; Bonilla, E.P.-D. De; Nettel-Hernandez, A. Diversidad Ecosistémica Del Manglar De La Costa Del Pacífico Del Continente Americano. *Foresta Veracruzana* 2022, 23(2), 13–20.
30. Rhyma, P.P.; Norizah, K.; Hamdan, O.; Faridah-Hanum, I.; Zulfa, A.W. Integration of Normalised Different Vegetation Index and Soil-Adjusted Vegetation Index for Mangrove Vegetation Delineation. *Remote Sens Appl* 2020, 17, 100280, doi:10.1016/j.rsase.2019.100280.
31. Rosero Erazo, C.R.; Beltrán Dávalos, A. Análisis histórico de interferencia antropógena por avance de la frontera agropecuaria en la parroquia San Juan – Chimborazo. *Dominio de las Ciencias* 2021, 7, 710–734.
32. Roy, B. Optimum Machine Learning Algorithm Selection for Forecasting Vegetation Indices: MODIS NDVI & EVI. *Remote Sens Appl* 2021, 23, 100582, doi:https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100582.
33. Mejia Salazar, C.E.; Andrade Castañeda, H.J.; Segura Madrigal, M.A. Estimación de biomasa y carbono con herramientas de teledetección en bosques secos tropicales del Tolima, Colombia. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección* 2023, 57–70.
34. Salgado-Velázquez, S.; Hernández, H.; Cordova Sanchez, S.; Aceves, L.; Joaquín, J.; Ramírez, A. ANÁLISIS TEMPORAL DE DIFERENTES ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA MONITOREAR EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA CHONTALPA, TABASCO. TEMPORARY ANALYSIS OF DIFFERENT VEGETATION INDICES TO MONITOR SUGAR CANE CROP IN LA CHONTALPA, TABASCO; 2023;
35. Xiong, C.; Ma, H.; Liang, S.; He, T.; Zhang, Y.; Zhang, G.; Xu, J. Improved Global 250 m 8-Day NDVI and EVI Products from 2000–2021 Using the LSTM Model. *Sci Data* 2023, 10, 800, doi:10.1038/s41597-023-02695-x.
36. Jaramillo, J.J.; R.C.A.; O.J.; N.–C.R.M. Forest Fragmentation and Landscape Connectivity Changes in Ecuadorian Mangroves: Some Hope for the Future? *Appl. Sci.* 13, 5001. <https://doi.org/10.3390/app13085001>. 2023.
37. Morocho Cuenca, R.; Gonzalez, I.; Otero, X. Mangrove Forests in Ecuador: A Two-Decade Analysis. *Forests* 2022, 13, 656, doi:10.3390/f13050656.
38. Rebolledo Monsalve, E.; Verduga Vergara, L. Water and Sediment Quality Changes in Mangrove Systems with Shrimp Farms in the Northern Ecuadorean Coast. *Applied Sciences* 2023, 13, 7749, doi:10.3390/app13137749.
39. Capella, A. Más que bosques un ecosistema polifacético: los manglares. 2024.
40. Hernández, H.; J.A, H.–S.; D.J, C. la C.; R.M, R.–C. Guía para la restauración ecológica de manglares: Lecciones aprendidas; CIFOR, 2020; ISBN 978-607-96490-8-1.
41. El Universo Estas Son Las Diez Mayores Exportadoras de Camarón de Ecuador, El Producto Que Bate Récord (En Línea, Sitio Web). Consultado 22 Abr. 2024. Disponible En <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/estas-son-las-diez-mayores-exportadoras-de-camaron-de-ecuador-el-producto-que-bate-record-nota/>. 2023.
42. Baltezar, P.; Murillo-Sandoval, P.J.; Cavanaugh, K.C.; Doughty, C.; Lagomasino, D.; Tieng, T.; Simard, M.; Fatoyinbo, T. A Regional Map of Mangrove Extent for Myanmar, Thailand, and Cambodia Shows Losses of 44% by 1996. *Front Mar Sci* 2023, 10, doi:10.3389/fmars.2023.1127720.
43. Tengku Hashim, T.M.Z.; Engku Ariff, E.A.R.; Suratman, M.N. Aquaculture in Mangroves. In *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*; Rastogi, R.P., Phulwaria, M., Gupta, D.K., Eds.; Springer Singapore: Singapore, 2021; pp. 419–438 ISBN 9789811624933 9789811624940.
44. Vélez-Alvarado, D.A.; Alvarez-Mozos, J. Clasificación de Usos y Cubiertas Del Suelo y Análisis de Cambios En Los Alrededores de La Reserva Ecológica Manglares Churute (Ecuador) Mediante Una Serie de Imágenes Sentinel-1. *Revista de Teledetección* 2020, 131, doi:10.4995/raet.2020.14099.



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>