

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Información General

Formato de informe final (carátula)

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.
(nombre del programa universitario de investigación de la Digi)

**EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA CONECTIVIDAD DE LOS MANGLARES Y LA
FRAGMENTACION DEL BOSQUE DEL CORREDOR BIOLOGICO SOSTENIBLE
CUYAMEL-OMOA-PUNTA DE MANABIQUE**

nombre del proyecto de investigación

4.8.69.4.67

Partida presupuestaria

CENTRO UNIVERSITARIO DE IZABAL -CUNIZAB-/IICI
unidad académica o centro no adscrito a unidad académica avaladora

Jeff Hendrik Taqué Aroche
Braulio Rafael Hernández Osuna
Andrea Margarita Smith López
Miguel Antonio Ávila Mora
Jorge Alejandro Sologaistoa Dardón
Melany Brigitte Ramírez Jiménez

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala, 30 de noviembre de 2023
lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Contraportada (reverso de la portada)

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Nombre Coordinador(a) del Programa de Investigación

Autores

Nombre del coordinador(a) del proyecto: Jeff Hendrik Taqué Aroche

Nombre del investigador(a): Braulio Rafael Hernández Osuna (estudiante de maestría)

Nombre del investigador(a): Andrea Margarita Smith López (estudiante de maestría)

Nombre del investigador(a): Jorge Alejandro Sologastoa Dardón (estudiante de maestría)

Nombre del investigador(a): Miguel Antonio Ávila Mora

Nombre del auxiliar de investigación II: Melany Brigitte Ramírez Jiménez

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2023.
El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.69.4.67 en el Programa Universitario de Investigación _____.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Formato de informe final (cuerpo del documento)

1 Índice general

1	Índice general	3
2	Resumen	6
3	Introducción	8
4	Antecedentes	10
5	Marco teórico.....	13
6	Estado del arte.....	16
7	Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta).....	19
8	Hipótesis (si aplica)	19
9	Materiales y métodos (Delimitación en tiempo y área geográfica en la que realizaron la investigación, enfoque, métodos, recolección de información, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de la información).....	19
10.1	Enfoque de la investigación	21
10.2	Método	22
10.3	Recolección de información.....	27
10.4	Técnicas e instrumentos	27
10.5	Operacionalización de las variables o unidades de análisis	31
10.6	Procesamiento y análisis de la información	32
10.7	Coherencia de la propuesta de investigación	34
11	Aspectos éticos y legales (si aplica)	35
12	Resultados y discusión	35
12.1	Resultados	35
13	Conclusiones	45
14	Recomendaciones	46
15	Referencias.....	47
16	Apéndice.....	49
17	Vinculación	50

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

En la filiación debe de anotarse la Universidad de San Carlos de Guatemala. Caso contrario no se concederá nuevos financiamientos de ninguna índole..... 50

19 Aporte de la propuesta de investigación a los Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) identificando su meta correspondiente: 50

20 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente al 31 de diciembre de 2023) 51

21 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación 51

21 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario..... 52

22 Visado de la Dirección General de Investigación 52

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Índice de tablas y figuras

Figura 1 Esquema de la fragmentación de un bosque.....	13
Figura 2 Conectividad de un bosque.....	14
Figura 3 Ubicación espacial del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique	20
Figura 4 Esquema grafico de la metodología espacial de grafos.	25
Figura 5 Fórmula para calcular los puntos de verificación para la validación de la metodología	26
Figura 6 Proceso y tratamiento de las imágenes	30
Figura 7	36
Figura 8 Grafica de la fragmentación del bosque	38
Figura 9 Mapa temático de conectividad	39
Figura 10 Mapa de conectividad del CBS	40
Figura 11 Matriz para poblaciones finitas.....	41
Figura 12 Mapa de la distribución de puntos de muestreo	43
Tabla 1 Valor económico del SE de protección costera contra eventos extremos que ofrecen los manglares ubicados en el Corredor Biológico Cuyamel-Omoa - Punta de Manabique.....	17
Tabla 2 Enfoque de la investigación	21
Tabla 3 Componentes de la conectividad utilizando metodología espacial de grafos.	24
Tabla 4 Fase de la investigación	29
Tabla 5 Coherencia de la propuesta de investigación	34
Tabla 6 Estimación de pérdida de bosque anual	36
Tabla 7 Niveles de fragmentación.....	37
Tabla 8 Ponderación de los niveles de fragmentación	38
Tabla 9 Componentes de la conectividad utilizando metodología espacial de grafos.	39
Tabla 10 Distribución de las muestras	42
Tabla 11 Porcentaje de precisión	42
Tabla 12 Porcentaje de precisión Índice Kappa	43

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

2 Resumen

La conectividad entre bosques y manglares es crucial para la preservación de la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas, especialmente en el departamento de Izabal, integrante del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique destacando la relevancia del manejo sostenible de este ecosistema en el Acuerdo Gubernativo 8-2019. Sin embargo, el corredor enfrenta un desafío crítico: la fragmentación del bosque y la pérdida de conectividad en los manglares, amenazando la supervivencia de especies nativas y migratorias.

Se propuso analizar la variación espacial en el tiempo de la fragmentación del bosque y evaluar la conectividad de los manglares durante el periodo 2013-2023, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se buscó comprender y contribuir al desarrollo sostenible

Además de su relevancia ambiental, el proyecto se integra con programas gubernamentales de incentivos forestales, como PROBOSQUE del INAB, que buscan incentivar prácticas sostenibles y generar ingresos económicos para las comunidades costeras.

La metodología involucró la generación de ráster a partir de imágenes Landsat 8 para mapear la pérdida anual de bosque. Estos ráster se convirtieron en archivos espaciales vectoriales para estimar el área. Se emplearon métricas como el número de parches y el grado de fragmentación para evaluar la conectividad de los manglares. Además, se calculó la precisión del mapeo espacial.

La evaluación espacial de la conectividad y la fragmentación del bosque estimó una pérdida significativa en diez años dicha pérdida amenaza la conectividad de los manglares, afectando la biodiversidad y los ecosistemas asociados, con alta precisión en el mapeo espacial.

Palabras clave: Biodiversidad; Manejo sostenible; Conservación; Bosques; Cartografía.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Abstract

Connectivity between forests and mangroves is crucial for the preservation of biodiversity and ecosystem stability, especially in the department of Izabal, which is part of the Sustainable Biological Corridor Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, highlighting the importance of sustainable management of this ecosystem in Governmental Agreement 8-2019. However, the corridor faces a critical challenge: forest fragmentation and loss of connectivity in the mangroves, threatening the survival of native and migratory species.

We proposed to analyze the spatial variation over time of forest fragmentation and evaluate mangrove connectivity during the period 2013-2023, aligned with the Sustainable Development Goals, we sought to understand and contribute to sustainable development.

In addition to its environmental relevance, the project is integrated with government forestry incentive programs, such as INAB PROBOSQUE, which seek to encourage sustainable practices and generate economic income for coastal communities.

The methodology involved generating raster images from Landsat 8 images to map annual forest loss. These raster images were converted into vector spatial files to estimate the area. Metrics such as number of patches and degree of fragmentation were used to assess mangrove connectivity. In addition, spatial mapping accuracy was calculated.

The spatial assessment of connectivity and fragmentation of the forest estimated a significant loss in ten years such loss threatens mangrove connectivity, affecting biodiversity and associated ecosystems, with high accuracy in spatial mapping.

Keywords: Biodiversity; Sustainable management; Conservation; Forestry; Mapping.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

3 Introducción

Los corredores biológicos son espacios geográficos delimitados lo cual tiene como funciones principales de proporcionar conectividad entre los ecosistemas, asegurar la diversidad biológica, la dinámica y sucesión ecológica. En el año 2018 inicia a conformar el diseño y plan estratégico del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique y para el año 2,021 se alcanza a hacer su lanzamiento por el grupo gestor, (Rosales, 2021).

Este corredor se encuentra ubicado entre áreas protegidas de Guatemala y Honduras con una alta importancia por su biodiversidad, dichas áreas son Reserva de Vida Silvestre Punta de Manabique ubicada en Guatemala y en la parte de Honduras se localizan las áreas protegidas de Refugio de Vida Silvestre Cuyamel y Parque Nacional Omoa, tienen categoría de sitios Ramsar, poseyendo áreas de bosques inundados con una alta conectividad biológica.

Esta conectividad que posee el Corredor Biológico Sostenible se ve amenazada por la fragmentación del bosque; siendo una de las principales amenazas que afectan la estabilidad de los ecosistemas e interrumpen el flujo de la conectividad y dispersión de los organismos y pérdida de los sistemas ecológicos. Este proyecto busca contribuir a generar información actualizada de la variabilidad espacial de la fragmentación que sufre el bosque y la conectividad de los manglares, (Cayuela, 2006).

En el plan estratégico del Corredor Biológico Sostenible el grupo gestor diseñó el plan estratégico para ejecutarse en 5 años el cual evaluará el avance de las líneas y estrategias donde proyectan monitorear la funcionalidad ecológica e incrementar la restauración de la conectividad, el manejo del paisaje y la recuperación del área, pero el monitoreo tradicional, consume tiempo, recursos y se dejan sectores sin lograr cubrir por su dificultad de acceso (Liu, et al., 2013).

Por lo que se propone utilizar sensores remotos y realizando un análisis espacial espacio-tiempo, utilizando la geoestadística para determinar la conectividad espacial y los niveles de las áreas fragmentadas a través del tiempo en un periodo de 10 años, realizando



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

análisis estadístico del cambio de la morfología de las geometrías fragmentadas y con la metodología espacial de grafos determinar la conectividad del ecosistema manglar.

Una de las preocupaciones de las iniciativas que presenta el Plan Estratégico del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique es sustentar la importancia de la conectividad de las áreas de ambos países para la conservación y poder restaurar áreas fragmentadas dentro del espacio físico del corredor.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

4 Antecedentes

Este estudio destaca la Evaluación de Riesgos Ecológicos del Paisaje (LERA), crucial para la gestión sostenible de la tierra. El enfoque se centra en cuencas hidrográficas y ajusta el peso de la vulnerabilidad ecológica con mayor precisión. Los resultados indican cambios significativos en el uso de la tierra, especialmente en la expansión de áreas construidas. Aunque el riesgo ecológico paisajístico se mantiene, áreas de alto riesgo se concentran en la costa. Este estudio profundiza en la relación entre el LER local y el cambio de uso de la tierra, proporcionando perspectivas valiosas para las prácticas de planificación. (Liu, Jianxiao, Meilian Wang y Linchuan Yang. 2020).

Este estudio aborda la fragmentación forestal, identificando factores específicos mediante imágenes Landsat. Se enfoca en áreas afectadas por expansión agrícola y deforestación impulsada por productos básicos en Brasil. Utilizando ArcGIS Spatial Analyst y Fragstats, se crean mapas de cobertura terrestre y se calculan métricas de fragmentación. Los resultados revelan que, en áreas con expansión agrícola, los parches de bosque adquieren formas complejas y pierden área central, afectando negativamente a especies dispersivas. Esta conexión crucial entre factores de fragmentación e impactos en especies ofrece información valiosa para los administradores forestales, especialmente en los municipios estudiados, al tomar decisiones sobre medidas de protección adicionales. (Slattery y Fenner, 2021).

Se evaluó la dinámica de la cobertura forestal (1993-2018) en dos áreas de la Península de Yucatán: Zona Maya (ZM) y Bacalar-Río Hondo (BRH). La degradación (12,915 ha y -1) superó la deforestación (5882 ha y -1), siendo más intensa en BRH. En BRH, hubo pérdida neta de bosque (-1,6% y -1). En ZM, la recuperación de bosques maduros (1,4% y -1) y la dinámica de la cobertura forestal se asociaron con la agricultura migratoria. Los cambios intensificados entre 2011 y 2018 evidenciaron ganancias de bosque maduro en ZM y áreas deforestadas en BRH, que se dirigieron hacia la vegetación secundaria. La conectividad mejoró en ZM, mientras que en BRH se observaron tendencias opuestas. Ellis, Martínez, Ortega, Gómez y Chacón (2020)

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Planteamiento del problema

Según Rosales, (2021) a pesar de los servicios ecosistémicos que brinda este ecosistema, presenta una problemática en cuanto la necesidad de restauración y conservación de la biodiversidad, es conocer el comportamiento de la conectividad del ecosistema manglar y la fragmentación del bosque a través del tiempo y espacio para enfocar los esfuerzos que ya se realizan desde hace 15 años por conservar los ecosistemas y que estos brinden mejores resultados a corto, mediano y largo plazo.

El bosque del Corredor Biológico Sostenible presenta un nivel crítico de deforestación según lo indica en el informe biológico es del 11.35%, (Cabrera et. al., 2021). Uno de los principales padecimientos es la información actualizada de los niveles de fragmentación y la conectividad que existe entre el bosque y el ecosistema manglar, la cual podría conforme el tiempo deteriorarse y generar islas o parches poniendo en riesgo la conectividad de las áreas y generar. Es necesario generar una base de datos que indique cual ha sido el comportamiento y cuál sería la tendencia de la fragmentación a través de analizar en el tiempo y espacio.

La transformación de los niveles de fragmentación influye en la transformación del paisaje del corredor biológico sustentable esto es de alta importancia para realizar una buena planificación de estrategias de conservación de la biodiversidad, (Otavo y Echeverría, 2017).

Es de suma importancia para la planificación de estrategias poder evidenciar los cambios en los patrones espaciales de cobertura en el tiempo y espacio, estos revelaran las transformaciones del área de estudio y una fragmentación avanzada de los bosques. Estos cambios amenazan la conectividad y persistencia de diferentes especies en alto riesgo de extinción. Al continuar la tendencia de cambios en los patrones espaciales, es probable que estas especies enfrenten un aumento en su riesgo de extinción, (Galván et. al, 2015).



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Los cambios aumentan los riesgos y la vulnerabilidad de la conectividad por el incremento del desarrollo de actividades antrópicas y por los efectos del cambio climático que perturban de manera directa los ecosistemas manglares por estar en primera línea, y pudieran causar un gran impacto negativo a la conectividad ejemplo de ello podríamos mencionar: deforestación, aprovechamiento forestal, y por efectos del cambio climático eventos hidrometeorológicos, hipersalinidad, azolvamiento, incremento del nivel del mar etc., (Pérez et. al, 2019).

Este tipo de análisis geoestadístico permitiría cartografiar y mapear en el tiempo áreas que están siendo perturbadas por diferentes factores, pudiendo servir para generar información la cual servirá para el desarrollo de la planificación de estrategias de otros proyectos como: actividades de control y vigilancia, conservación y restauración lo cual permitan mantener el equilibrio de la biodiversidad biológica.

Actualmente solo se ha realizado levantamiento de información general de la distribución del bosque actual, pero no se tiene información geoestadística del comportamiento del bosque y la conectividad de los manglares.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

5 Marco teórico

En este marco teórico establecerá las bases conceptuales necesarias para abordar la evaluación de la conectividad de manglares y la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, proporcionando un entendimiento sólido de la importancia fundamental de estos corredores en la conservación ambiental.

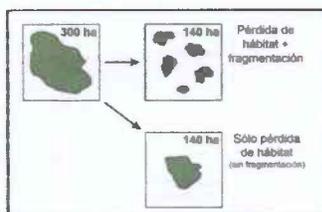
Corredor Biológico

Un corredor se define como una delimitación espacial la cual provee conectividad entre los ecosistemas, hábitats naturales el cual garantiza la diversidad biológica, la dinámica y sucesión ecológica evolutiva. <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/que-es-corredor>

Fragmentación

Es un proceso por el cual una superficie de gran extensión cubierta por vegetación continuas se va convirtiendo por diversos factores en teselas de menor tamaño o pequeños parches de cobertura vegetal y aisladas esto se debe a la pérdida de hábitat o cambios de manera simultánea de los factores bióticos y abióticos, esta suele darse de manera simultánea, (Forman, 1995), proceso que se ilustra en la Figura 1.

Figura 1 Esquema de la fragmentación de un bosque



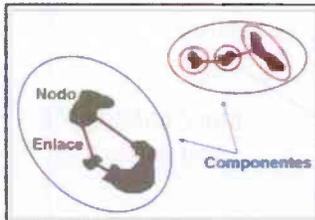
Nota: Esquema grafico de la formación de teselas, adaptado de (Saura, 2019, 3:56).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Conectividad Ecológica

Es importante mencionar que la conectividad y la heterogeneidad es el grado en el que los elementos del paisaje facilitan o restringen la movilidad de las especies entre las teselas o parches, es un factor clave en la conservación de la biodiversidad en los corredores ecológicos el cual está diseñado para la conservación y contribución a la conectividad factor clave del mantenimiento de la biodiversidad para la estabilidad de los ecosistemas, asegurando la dispersión de especies, el flujo de poblaciones y el funcionamiento del sistema, (Olds, Pitt, Maxwell, y Connolly, 2012) Ver Figura 2.

Figura 2 Conectividad de un bosque.



Nota: Esquema de componentes y la conectividad. Adaptado de (Saura, 2019, 10:57).

Sensores Remotos

Son instrumentos que sirven para la teledetección y el principal objetivo es la generación de imágenes que son utilizadas para la observación de los fenómenos que en la tierra ocurren y estudios ambientales la mayoría de estos sensores los cuales hay activos y pasivos, poseen fuentes de iluminación controlables y dan respuestas a variables geofísicas como: salinidad, humedad, mayor penetración en vegetación, distribución de especies, (Copernicus, 2018).

Imagen de satélite

Es una representación gráfica que captura un sensor el cual se encuentra en el satélite, esta información es enviada a una estación la que los procesa y se generan las imágenes las cuales tienen una relación específica teniendo coordenadas geográficas o proyectadas de un objeto captado por el sensor, (Podest, 2019).

Píxel

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Es la unidad física el cual utiliza un lenguaje informático llamado pixel, el cual es considerado como la unidad menor la cual conforma una imagen digital este es medido en milímetros, cada uno de estos conforman una unidad homogénea de colores que al unirse la variación de colores se obtiene una imagen, (Chuvieco, 2010).

Sistemas de Información Geográfico (SIG)

Son una herramienta que tiene diferentes aplicaciones para planificación, investigación, control y monitoreo de recursos naturales, vulnerabilidad y desastres naturales, Meteorología, Cambio Climático, Geografía, GeoMarketing entre otros.

Aprendizaje supervisado

Esto es cuando a los algoritmos de aprendizaje automatizado se entrenan las características y etiquetas para que el algoritmo pueda predecir conociendo las características de interés de estos existen dos métodos: El de clasificación y el de regresión para el interés de este documento de investigación únicamente se retoma el concepto de método de clasificación, (Jones, 2017)

Modelo de Clasificación

En el modelo de clasificación se busca que el algoritmo indique el elemento el cual está siendo objeto de estudio a que grupo pertenece, este algoritmo lo que hace es encontrar patrones con los datos que le damos y los clasifica, posterior compara los datos observados y los agrupa, es así como funciona y predice el algoritmo el cual es un conjunto de datos discretos, estos pueden ser binarios sí, no; azul, rojo; etc, múltiple: producto 1, producto2, ordenado riesgo; bajo, medio, alto, (Jones, 2017).

Se utilizo el software FRAGSTATS permite calcular una variedad de métricas para describir la estructura y la configuración del paisaje, como el tamaño de los parches o fragmentos de bosque, la forma, el número y la conectividad de los fragmentos, entre otros.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

6 Estado del arte

La conectividad y fragmentación de manglares y bosques son temas cruciales en la gestión y conservación de ecosistemas costeros. En la literatura científica, se han abordado investigaciones que exploran métodos avanzados para evaluar estos aspectos, especialmente en corredores biológicos. A continuación, se resumen algunas tendencias y hallazgos clave.

Con base a la revisión bibliográfica, en el 2018 inicia una serie de acciones para establecer el Corredor Biológico como resultado de esto se obtiene un documento base que propone objetivos de conservación y el diseño del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique Rosales, (2021) por lo que las fronteras del estado del arte son apenas incipientes utilizando estas variables y establece que la conectividad y la fragmentación del bosque es un análisis que aún no se ha profundizado, (Rosales, 2021).

Cabrera, Catalán, Cajas, Ortiz, Machuca, Flores, (2021) presentan en el estudio biológico información geográfica de los tipos de bosque, flora, fauna y de actividades agrícolas en el espacio geográfico del Corredor, donde el 11.35% de una extensión territorial de 55,441.35 hectáreas del corredor es bosque, pero no se profundiza en los niveles de fragmentación y la conectividad.

La pérdida de la conectividad de los manglares representa pérdida de la diversidad biológica, hábitat de especies de fauna, mitigación de los efectos del cambio climático y pérdida de los servicios ecosistémicos que este presta. Pero es importante mencionar la valoración económica que estos representan según el estudio realizado por (Revollo y Ríos, 2020) donde estiman el valor económico de los servicios ecosistémicos de la cobertura manglar del CBS en aproximadamente estiman \$5 millones de dólares el valor de los ecosistemas manglares, Ver Tabla 1

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 1 *Valor económico del SE de protección costera contra eventos extremos que ofrecen los manglares ubicados en el Corredor Biológico Cuyamel-Omoa - Punta de Manabique*

Dólares al año 2020			
USD/ha/año (2020)	MIN	PROM	MAX
\$ 652.2	\$ 4,527,127	\$ 5,030,141	\$ 5,533,155

Nota. La tabla proporciona una síntesis de los resultados obtenidos a través de este enfoque de valoración económica. Es relevante destacar que esta información se deriva del proyecto "Bosques, Biodiversidad y Desarrollo Comunitario: Fortaleciendo la gestión nacional de áreas protegidas en Honduras y Guatemala", llevado a cabo por Revollo y Ríos en 2020.

La aplicación de la geomática utilizando herramientas de teledetección y realizando clasificación de imágenes de sensores remotos, es una alternativa para generar data espacial actualizada que permitiría realizar monitoreos de manera constante del comportamiento de las conexiones del ecosistema manglar y de los niveles de conectividad de los manglares.

Por las características del paisaje que presenta las áreas marino-costeras del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique donde se desarrolla los manglares y los bosques inundables, se considera que es urgente generar información que pueda evidenciar la magnitud de la fragmentación del bosque y el impacto que este ocasiona a la conectividad de las áreas provistas de manglares.

Con la generación de esta información se puede realizar acciones para minimizar el impacto de deforestación de los manglares, como los casos de éxito que se han logrado ingresar áreas a incentivos forestal de los programas PROBOSQUE del Instituto Nacional de Bosques, teniéndose la primera experiencia donde se benefició una familia de la comunidad de Santa Isabel el cual ingreso un plan de manejo de protección forestal al programa y obtendrán un incentivo económico, mejorando su calidad de vida, su seguridad alimentaria y se conservará este tipo de ecosistema de suma importancia en una zona con el mayor porcentaje de manglares en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y también se ha incluido propietarios privados a este tipo de beneficio.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

El Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique es un espacio geográfico que proporciona las condiciones físicas para la conectividad y mantiene la biodiversidad biológica y procesos primarios de sucesión ecológica. Actualmente solo se ha realizado levantamiento de información general de la distribución del bosque actual, pero no se tiene información geoestadística del comportamiento de la dinámica del ecosistema manglar en el tiempo y espacio ni de los niveles de fragmentación.

Los cambios en los patrones espaciales de cobertura y usos del suelo pueden revelar la transformación del área de estudio y una fragmentación avanzada de los manglares. Estos cambios amenazan la persistencia de diferentes especies en alto riesgo de extinción. Al continuar la tendencia de cambios en los patrones espaciales, es probable que estas especies enfrenten un aumento en su riesgo de extinción. Estos estudios se han realizado basado en píxeles, basado en objetos y basado en conocimiento clasificadores.

La integración de datos participativos y modelos predictivos en evaluaciones de conectividad se presenta como una oportunidad para mejorar la comprensión y la gestión efectiva. En relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), investigaciones recientes subrayan la importancia de alinear los objetivos de conectividad y conservación con los ODS, promoviendo un enfoque integral que contribuya al desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático.

En términos de desafíos y oportunidades, la precisión del mapeo espacial sigue siendo una oportunidad especialmente en áreas con cobertura vegetal densa; con los avances en algoritmos de clasificación y procesamiento de imágenes.

Se busca tener en un campo de investigación dinámico y multidisciplinario que combina tecnologías avanzadas en Geomática con enfoques específicos para abordar la conectividad y fragmentación en entornos costeros, como el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

7 Objetivos (generales y específicos aprobados en la propuesta)

General

Evaluación espacial de la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa- Punta de Manabique.

Específicos

- Estimar la variación espacial en el espacio-tiempo de la fragmentación del bosque para el periodo 2013-2023 y conectividad de los manglares
- Evaluar la conectividad espacial de los manglares y su relación con la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, analizando su impacto en la biodiversidad y los ecosistemas asociados
- Cálculo de la precisión e incertidumbre del mapeo espacial de la fragmentación y conectividad de los manglares del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique

8 Hipótesis (si aplica)

El método propuesto puede identificar áreas de mayor fragmentación del bosque y variación de la conectividad de manglares en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique.

9 Materiales y métodos (Delimitación en tiempo y área geográfica en la que realizaron la investigación, enfoque, métodos, recolección de información, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de la información)

Delimitación en tiempo

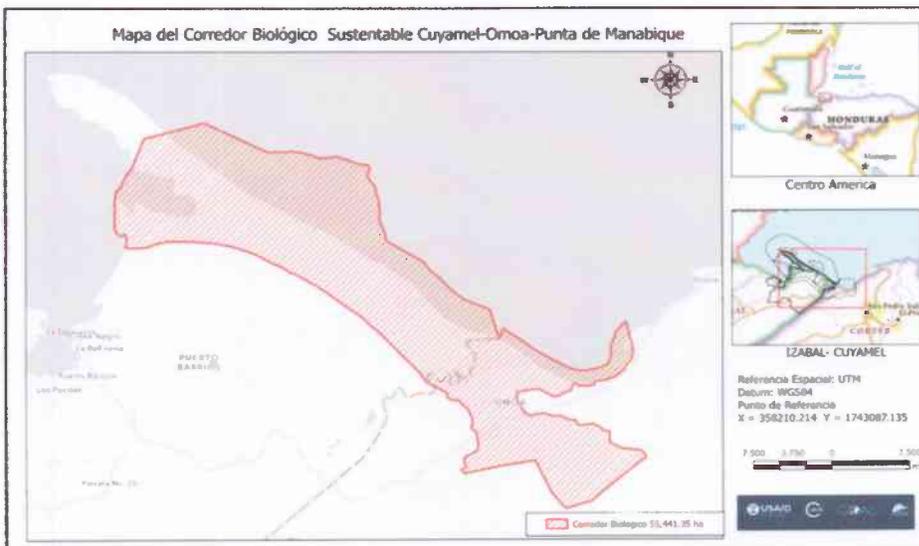
La fecha propuesta para el inicio del proyecto luego de los trámites administrativos, idealmente se estima iniciar el 1 de febrero y la de finalización el 30 de noviembre del año 2,023. diseñado para un tiempo de 10 meses de febrero-noviembre del año 2023.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Delimitación espacial

El Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, se encuentra geográficamente al noreste entre Guatemala y Honduras en la costa del océano Atlántico se caracteriza por diversos ecosistemas y áreas de importancia ecológica como los manglares; cuenta con una extensión espacial de 55,441.35 hectáreas, de los cuales 16,706.28 hectáreas son del subsistema de áreas protegidas Cuyamel- Omoa, (SAPCO), en Honduras, donde 7,995 hectáreas son ecosistemas montañosos, 2611 hectáreas de ecosistemas de humedales, 3722 hectáreas de planicies costeras y 2007 hectáreas de ecosistemas marinos, y para el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique en Guatemala con una extensión de 38,735.07 hectáreas de área de ecosistemas de humedales y planicies costeras y ecosistemas marinos, (Rosales, 2021).

Figura 3 Ubicación espacial del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique



Nota: Delimitación espacial del espacio geográfico del Corredor.
Elaboración propia. Realizado con ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10.1 Enfoque de la investigación

Indicar el enfoque de la investigación (cuantitativo, cualitativo o mixto) con base en los siguientes conceptos:

Este proyecto utilizará el enfoque cuantitativo y establecerá los patrones morfológicos de las teselas, recolectando toda la data de campo y de imágenes de satélite para poder observar las variaciones de la conectividad del ecosistema manglar y la fragmentación del bosque, se utilizará un análisis geoestadístico ver Tabla 2.

Tabla 2 *Enfoque de la investigación*

Método de Investigación	Tipo de investigación	Nivel de Investigación	Diseño de Investigación	Enfoque de la Investigación
Científico	Aplicada	Predictiva	Aplicada	Mixta
Este será utilizado principalmente para la obtención de conocimiento de la variación de la conectividad de los manglares y los niveles de fragmentación dentro de limite espacial del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique	Tiene como finalidad evaluar la variación de la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque dentro del espacio geográfico del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique procesando un set de datos con Google Earth Engine	Para lograr evidenciar las áreas con mayor fragmentación identificando las geometrías.	Este diseño permitirá identificar y cuantificar las áreas que presentan la mayor fragmentación de bosques dentro del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique.	El enfoque de la investigación es cuantitativo realizando un análisis estadístico de teselas de las áreas con mayor fragmentación dentro del área delimitada del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique.

Nota: Describe el método, tipo y diseño del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10.2 Método

Se utilizó la siguiente metodología para evaluar cómo la conectividad espacial de los manglares está relacionada con la fragmentación del bosque, y cómo esto a su vez afecta la biodiversidad y los ecosistemas en el área de estudio. Este enfoque permitió comprender mejor las interacciones entre estos factores y su influencia en la conservación de los manglares y la protección de la diversidad biológica.

Se estimó la variación espacial en el espacio y tiempo de la fragmentación del bosque en un periodo de 10 años (2013-2023) y la conectividad de los manglares, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

Se utilizó el data set del periodo 2013-2023 seleccionando una imagen por año del satélite Landsat 8 con una resolución 30 metros en la temporalidad de abril a agosto debido que es un área subtropical donde la mayor parte del año presenta nubosidad con ayuda de la plataforma Google Earth Engine y la colección de Landsat 8 OLI/TIRS con correcciones atmosféricas utilizando el proveedor GEE/USGS/NASA y como características con nubosidad del (5%-10%).

Esta colección de Landsat 8 OLI/TIRS se determinó las áreas de bosque y no bosque utilizando el algoritmo de Introduction to Hansen et al. Global Forest Change Data y se generaron ráster de pérdida de cobertura de bosque. Google Earth Engine. 2021. Recuperado de: https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_02

Se utilizaron los ráster generados con GEE se exportaron en formato Tiff y se continuó el procesamiento con ArcGIS Pro donde se convirtieron los ráster a archivos espaciales vectoriales tipo polígono con los cuales se obtuvo la geometrías se calculó el área mínima de mapeo, la cual se considera de 0.5 hectáreas de pérdida del bosque para ese periodo.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Para evidenciar la dinámica del bosque en el tiempo y espacio se realizó un análisis estadístico de los cambios y fragmentación del bosque graficando la pérdida a través de los años con los ráster generados de las imágenes clasificadas de Landsat 8. Con ArcGIS Pro realizaron cálculos espaciales donde se estimó las áreas utilizando la unidad métrica de hectáreas y se obtuvo las estadísticas de la pérdida del bosque y se graficó con la ayuda del software ArcGIS.

De toda la data obtenida de pérdidas del periodo 2013 y 2023 se generaron informes estadísticos de la fragmentación del bosque (BQ) y no bosque (NBQ) y con la ayuda del software FRAGSTATS se obtuvieron la estadística de las teselas (NP) del área con esta data se determinó que tanto se fragmento el bosque en el Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique y la continuidad espacial; este análisis no incluyó una evaluación de las causas y efectos.

Es importante mencionar que el software utilizado FRAGSTATS es una herramienta ampliamente utilizada en ecología del paisaje: con este se analizó y cuantifico la fragmentación del paisaje. Se utilizó para medir la configuración y el patrón espacial de los paisajes, evaluar la calidad del hábitat y comprender el impacto de la fragmentación en la biodiversidad y la función de los ecosistemas.

El área de estudio se dividió en una cuadrícula y con la ayuda del software FRAGSTATS se obtuvo estadísticas de las teselas para cada uno de los recuadros, con el fin de encontrar las áreas que presentan la mayor fragmentación.

Se evaluó el grado de fragmentación se estimará con relación entre el área de bosque y el área total de la siguiente manera: $F = \text{área de bosque (ha)} / \text{área total (ha)}$. Los valores de F varían entre 0 y 1 y se caracterizan de acuerdo con los siguientes intervalos de valores: $F = 1$, sin fragmentación; $1 > F \geq 0,7$, fragmentación moderada; $0,7 > F \geq 0,5$, altamente fragmentado; $0,5 > F$, insularizado. (Lozano 2011), mencionado por (Galván et. al, 2019).

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Para estimar la continuidad espacial, como indicador de fragmentación $FCI = \ln (\Sigma A / \Sigma P)$, donde: FCI = índice de continuidad de Vogelmann; ΣA = área total de parches de bosque del paisaje, en metros cuadrados (m²); ΣP = perímetro total de parches de bosque del paisaje en metros (m). Valores límite indican mejor continuidad del bosque y valores menores indican mayor fragmentación y aislamiento de las islas de bosque; los cuales confrontados en una escala logarítmica natural dichos valores inferiores a cero muestran continuidad (Vogelman 1995).

Se evaluó la conectividad utilizando la metodología para el análisis de la conectividad y se realizó una estructura de grafos espaciales que permitirá estudiar las interrelaciones de las unidades que interactúan unas con otras de las teselas según establece (Saura, 2008), ver Figura 4. Los grafos están compuestos por un conjunto de nodos y de enlaces el cual representa la conexiones o relaciones entre los fragmentos o teselas de hábitats que representaría la capacidad de las especies en moverse entre teselas. Los enlaces conectan pares de nodos entre si es decir se forma una red, ver Tabla 3.

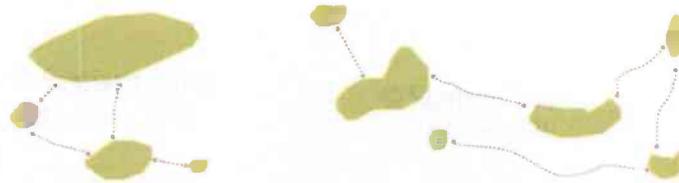
Tabla 3 Componentes de la conectividad utilizando metodología espacial de grafos.

Ecología del paisaje	Teoría de grafos
Paisaje	Grafo
Tesela	Nodo
Conexión funcional	Enlace
Conexión funcional	Componente

Nota. El análisis de la conectividad estructural ecológica es ampliamente reconocido por la importancia en la gestión, conservación y evaluación, adaptado de (Saura, 2019, 26:33), elaborado con Excel.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 4 Esquema grafico de la metodología espacial de grafos.



Nota: La imagen muestra la conectividad de las teselas y los componentes, adaptado de (Saura, 2019, 26:33).

Para la evaluación de la conectividad espacial de los manglares y la relación con la fragmentación del bosque dentro del espacio geográfico del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique se utilizó la metodología de grafos, esta se basó en el estudio de las relaciones entre objetos o parches los cuales podrían ser bosque, humedales, manglares, y estos representados a través de nodos (vértices) y para evaluar la conectividad entre estos parches se trazan líneas directas de conexiones (aristas) si no hay barreras físicas ejemplo: no Bosque, urbanización, entonces serian líneas curvas o interrumpidas donde no existan barreras naturales o antropogénicas.

A continuación, pasos generales de esta metodología:

Identificación de nodos:

Los nodos representan los elementos del paisaje que se desea evaluar, como fragmentos de hábitat o áreas naturales como son las clases: bosque, humedales, manglares. Estos nodos se identifican y se representan en el grafo.

Definición de aristas

Las aristas representan las conexiones entre los nodos y pueden variar según el tipo de conectividad que se desea evaluar. Por ejemplo, las aristas pueden representar la distancia euclidiana entre los nodos, la resistencia al movimiento entre ellos o cualquier otro factor que influya en la conectividad.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Análisis del grafo

Una vez construido el grafo, se pueden aplicar diferentes técnicas de análisis. Algunas de las medidas comunes utilizadas incluyen el grado de conectividad de un nodo (número de aristas conectadas a un nodo), la centralidad (importancia relativa de un nodo en el grafo), la distancia media entre los nodos y la identificación de caminos críticos o rutas de conexión clave.

Para medir la precisión de los datos geospaciales de la fragmentación y conectividad de los manglares del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, se realizó un muestreo al azar utilizando la matriz de Tamaños Muestrales para poblaciones Finitas, posterior se generaron puntos de muestreo completamente al azar utilizando la herramienta random point del software ArcGIS se generan los puntos de muestreo, con la matriz de coherencia se generó el porcentaje de la precisión y el cálculo del índice Kappa. Figura 5

Figura 5 Fórmula para calcular los puntos de verificación para la validación de la metodología

Matriz de Tamaños Muestrales para diversos margenes de error y niveles de confianza, al estimar una proporción en poblaciones Finitas										
N [tamaño del universo]	1.134 ← Escriba aquí el tamaño del universo									
p [probabilidad de ocurrencia]	0,2 ← Escriba aquí el valor de p									
Nivel de Confianza (alfa)	1-alfa/2	z (1-alfa/2)								
90%	0,05	1,64								
95%	0,025	1,96								
97%	0,015	2,17								
99%	0,005	2,58								
Fórmula empleada										
$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{donde:} \quad n_0 = p^*(1-p)^* \left(\frac{z(1-\frac{\alpha}{2})}{d} \right)^2$										
Matriz de Tamaños muestrales para un universo de 1134 con una p de 0,2										
Nivel de Confianza	d [error máximo de estimación]									
	10,0%	9,0%	8,0%	7,0%	6,0%	5,0%	4,0%	3,0%	2,0%	1,0%
90%	41	51	63	82	108	149	217	336	552	897
95%	58	71	89	113	148	202	287	426	652	957
97%	71	86	107	135	177	238	333	482	708	986
99%	97	118	145	182	235	310	419	579	795	1.025

Nota. Con esta fórmula se calcula la muestra de puntos para verificar la validación de la metodología. Adaptado de Orozco y Pineda, 2019. *Revista Internacional de Aprendizaje*, pp. (27), 1-27.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10.3 Recolección de información

Se realizarán visitas de campo, para establecer puntos de marca para realizar las áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada con Google Earth engine utilizando (Random Forest) de las clases de Bosque, No Bosque, Manglar, Agua.

Se generaron ráster de pérdida de bosque y un ráster por año para ello se utilizó la colección del sensor Landsat 8 con un porcentaje de nubosidad del 10%, para ello se utilizará la plataforma Google Earth engine, se utilizó ArcGIS pro para el modelado y conversión de los ráster a archivos vectoriales, además se graficó posterior se elaboraron mapas.

Para la validación del nivel de precisión se realizará un muestreo al azar utilizando matriz de tamaños muestréales para diversos márgenes de error 0.5b y niveles de confianza 97%, al estimar una proporción de poblaciones finitas.

10.4 Técnicas e instrumentos

Para alcanzar los objetivos se plantean la siguientes estrategias y procedimientos básicos los cuales son necesarios.

A continuación, se presenta un listado de los pasos a seguir para realizar este análisis y poder obtener los resultados:

Fase I: Selección de las imágenes de satélite: En esta fase se realizará el procedimiento de la obtención del dataset de las imágenes de satélite Landsat 8 con un porcentaje de nubosidad del 5%-10% para cada año del periodo de 2013 y 2023, se utilizará Google Earth Engine, Proveedor “Hansen/UMD/Google/USGS/NASA”.

Fase II: para el desarrollo en esta fase se procesarán las imágenes de Landsat 8 previamente seleccionadas y se generarán las clases bosque y no bosque utilizando el índice de NDVI esto se procesará con la plataforma Google Earth Engine, con el código de “Hansen/UMD/Google/USGS/NASA” y se generará imágenes ráster para cada año.

https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2020_v1_8#description



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Fase III: En el desarrollo de esta fase se utilizarán los ráster clasificados en bosque y no bosque, luego se realizará un proceso para generar la animación de como se ha comportado el bosque en el tiempo, con la ayuda de software de sistemas de información geográfica ArcGIS-Pro.

Fase IV: En esta fase se procede a calcular áreas de bosque y no bosque para cada año en el periodo 2013-2023 se procesar los ráster a vectores utilizando el software sistemas de información geográfico ArcGIS-Pro.

Fase V: en esta fase se evidenciará la dinámica del bosque en el tiempo y espacio realizado un análisis estadístico y visual de los cambios y fragmentación del bosque, graficando las pérdidas a través de los años con los ráster generados se realizarán las estimaciones de las áreas y se obtendrá las estadísticas de la pérdida del bosque con la ayuda del software ArcGIS.

Con toda la data que se genere de pérdidas de bosque para el periodo 2013 y 2023 se generan informes estadísticos de la fragmentación, obteniendo estadística de las teselas del área y así determinar que tanto es el nivel de fragmentación existe en el Corredor Biológico Sustentable Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, Ver Tabla 4.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

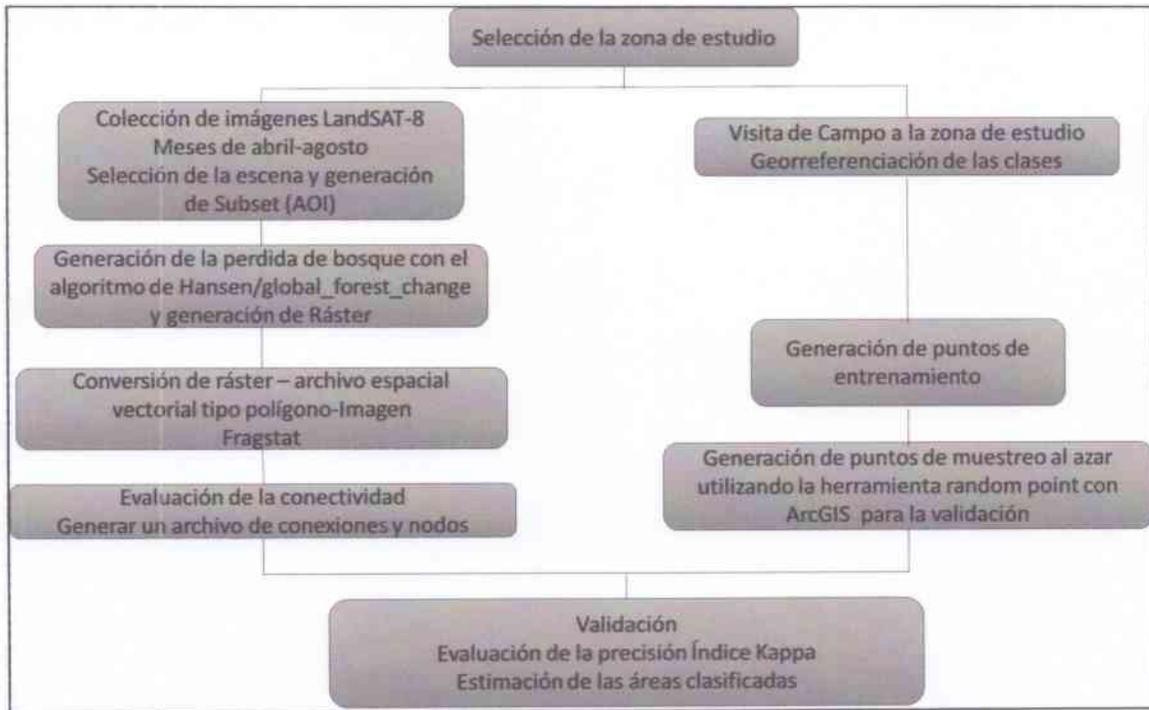
Tabla 4 Fase de la investigación

Fase	Técnicas	Instrumentos
Fase I	Obtención, selección de imágenes de satélite Landsat-8.	Plataforma de acceso gratuito Google Earth Engine, Proveedor Google/USGS/NASA"
Fase II	Procesamiento de imágenes y clasificación y generación de ráster por año.	Plataforma de acceso gratuito Google Earth Engine, Proveedor "Hansen/UMD/Google/USGS/NASA"
Fase III	Conversión de ráster a vectores y cálculo de áreas. Generación de animación, análisis y modelado espacial	Software de sistemas de información geográfica ArcGIS-Pro
Fase IV	Análisis de la fragmentación del bosque del Corredor Biológico	Software FRAGSTAT
Fase V	Análisis de la fragmentación del bosque del Corredor Biológico, estadísticos sobre la fragmentación y conectividad del corredor biológico	Software de sistemas de información geográfica ArcGIS-Pro analysis network, análisis de redes neuronales, generación de gráficos de la pérdida de bosque durante el periodo 2013-2023
Fase VI	Generación de informes	Software ArcGIS

Nota. Describe cada fase e instrumentos necesarios para llevarlo a cabo, Fuente Elaboración propia, realizado con Excel.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 6 Proceso y tratamiento de las imágenes



Nota. Esquema del tratamiento de las imágenes y utilización del software especializado, Elaboración propia, elaborado con Power Point.

En cada fase se utilizarán diferentes técnicas para llevar a cabo el estudio, y los instrumentos correspondientes son utilizados para realizar las tareas específicas en cada etapa. Estos incluyen el uso de la plataforma Google Earth Engine para la obtención y procesamiento de imágenes de satélite, el software ArcGIS-Pro para el análisis espacial y generación, y modelado de mapas y informes estadísticos, y otros instrumentos proporcionados por los proveedores de datos para la clasificación y conversión de datos.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Recurso humano

1. Técnico de campo
2. Especialista SIG
3. Recursos Materiales

Hardware

4. Computadoras
5. Impresora multifuncional
6. Dispositivos
7. Software
8. Paquete de office
9. Software SIG
10. Imágenes de satélite
11. Aplicación para levantamiento de información Survey 123
12. Navegador GNSS
13. Cámara fotográfica alta resolución
14. Internet
15. Vehículo 4x4
16. Lancha con motor marino
17. Combustible
18. Equipo especial (Botas de hule, chalecos salvavidas, ropa adecuada para montaña)

10.5 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Análisis visual del espacio-tiempo de los cambios y fragmentación del bosque 2000-2020.

Se generaron ráster de pérdida de bosque y bosque, para cada año del periodo 2013-2023 esto permitió obtener clasificación y evidenciar de manera visual los cambios a través del tiempo-espacio.

Análisis estadístico de los cambios y fragmentación del bosque.

Se realizó un análisis estadístico utilizando los ráster de bosque y no bosque se calculó el número de parches, el parche más grande, para cada año del periodo 2013-2023, para estimar el área se procesaron los ráster generados y se convirtieron en archivos espaciales tipo vectorial para obtener las áreas y se generaron las gráficas por medio del software ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Determinación de las áreas con mayor pérdida y fragmentación de bosque.

Con toda la data obtenida se dividió el espacio geográfico del corredor en una cuadrícula y con la ayuda del software FRAGSTAST se obtuvo la estadística de los parches o teselas para cada recuadro, para establecer los niveles y cuáles fueron las áreas que presentaron la mayor fragmentación del bosque.

Con la metodología espacial de grafos se generaron las aristas de conectividad utilizando puntos geodésicos para establecer nodos y los enlaces, y se estableció una red entre parches o teselas.

Para esta investigación se utilizó la referencia espacial: Elipsoide WGS84; Datum WGS84; Proyección UTM Zona 16N este tipo de proyección se utilizó por el hecho que la delimitación geográfica del corredor esta compartido con Honduras.

Es importante mencionar que este análisis no incluyó evaluar las causas y efectos de la fragmentación del bosque.

10.6 Procesamiento y análisis de la información

Para el desarrollo de la información, será necesario realizar visitas de campo al área para la colocación de puntos de control, para entrenar el algoritmo de clasificación, se utilizará la aplicación Survey 123 de ESRI la cual se elaborará un formulario generando las coordenadas de ubicación y la identificación de cada clase.

Con las clases generadas se realizó el entrenamiento del algoritmo y se realizó la clasificación utilizando imágenes del sensor de LANDSAT 8 una para cada año con una nubosidad del 10%-20%, utilizando la plataforma de Google Earth Engine para la generación de los ráster para cada año del periodo 2013 y 2023.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Con la ayuda del Software FRAGSTAST se evaluó el grado de fragmentación del bosque y la conectividad del ecosistema manglar para la evaluación de los parches y la conectividad. Valores máximos implican mayor continuidad del bosque y valores mínimos reflejan mayor fragmentación y discontinuidad de los parches de bosque; comparados dentro de la escala logarítmica natural los valores menores a cero indican continuidad (Vogelman 1995).

Para el mapeo, visualización y generación de mapas temáticos será necesario utilizar Software de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS pro.

- Análisis visual del espacio-tiempo de la variación espacial de la conectividad del manglar y los cambios de fragmentación del bosque 2013 y 2023.
- Análisis estadístico de la fragmentación del bosque.
- Determinación de las áreas con mayor pérdida y fragmentación del bosque.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

10.7 Coherencia de la propuesta de investigación

Tabla 5 *Coherencia de la propuesta de investigación*

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos	Resultados (1)
<p>(1) Estimar la variación espacial en el espacio-tiempo de la fragmentación del bosque para el periodo 2013-2023 y conectividad de los manglares.</p> <p>(2) Evaluar la conectividad espacial de los manglares y su relación con la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, analizando su impacto en la biodiversidad y los ecosistemas asociados.</p> <p>(3) Cálculo de la precisión e incertidumbre del mapeo espacial de la fragmentación y conectividad de los manglares del Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique</p>	<p>1- Análisis de la librería de imágenes satelitales LandsAT-8 de Google Earth Engine y el uso de Hansen/UMD/Google/USGS/NASA y GIS (Sistemas de Información Geográfica).</p> <p>2- Análisis de redes de conectividad espacial, estudio de patrones de distribución y análisis de datos ecológicos.</p> <p>3- Validación cruzada de datos cartográficos, uso de índices de precisión y técnicas estadísticas.</p>	<p>1- Mapas y gráficos que representen la variación espacial y temporal de la fragmentación del bosque y conectividad de los manglares durante el periodo 2013-2023.</p> <p>2- Relación entre la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico, y su influencia en la biodiversidad y ecosistemas asociados.</p> <p>3- Medidas de precisión y niveles de incertidumbre del mapeo espacial de fragmentación y conectividad de los manglares en el Corredor Biológico.</p>



Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

11 Aspectos éticos y legales (si aplica)

Si la propuesta de investigación requirió opinión favorable de un comité de bioética debidamente constituido en la Usac, así como permisos, registros o licencias de instituciones del Estado (Idaeh, Conap, Marn, etc.), adjuntar lo correspondiente en este apartado.

12 Resultados y discusión

12.1 Resultados

La investigación se centró en la evaluación espacial de la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique. Con el objetivo general de comprender la dinámica ambiental en esta región, se plantea la estimación de la variación espacial a lo largo del tiempo (2013-2023) en la fragmentación del bosque, así como en la conectividad de los manglares.

A través de enfoques espaciales y temporales, esta evaluación buscó proporcionar una visión integral de la transformación de estos ecosistemas, identificando patrones y cambios significativos que contribuyan a la comprensión de la salud y sostenibilidad de este vital corredor biológico.

Los objetivos específicos se enfocan en analizar y cuantificar las alteraciones en la estructura del bosque y la conectividad de los manglares, brindando una base sólida para la formulación de estrategias de conservación y gestión en esta importante área de biodiversidad.

Se destaca los resultados, los métodos utilizados en la recopilación, procesamiento de los datos espaciales y de campo, cuyo análisis arroja una comprensión más profunda de la composición y distribución espacial de la fragmentación y la conectividad.

Para lograrlo fue necesario generar a partir de imágenes Landsat 8 los ráster de las áreas de pérdida para el periodo: 2013-2023 y estos mismos se procesaron y se convirtieron en archivos espaciales tipo vector (polígonos) para lograr estimar el área. Ver Tabla 5.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 6 Estimación de pérdida de bosque anual

Año	Perdida de bosque/ha	%
2013	3012.23	5.89
2014	3410.87	6.67
2015	3762.30	7.35
2016	4307.95	8.42
2017	4791.11	9.36
2018	5066.13	9.90
2019	5329.64	10.41
2020	5324.62	10.40
2021	5324.62	10.40
2022	5324.62	10.40
2023	5520.42	10.79
Total	51174.51	58.00

Nota. Se muestra la pérdida de cobertura de bosque para un periodo de 10 años en el área de estudio del corredor biológico el cual tiene una extensión de 22,504.89 hectáreas, Fuente Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 7

Tendencia de la pérdida de cobertura de bosque



Nota. En la gráfica muestra la línea de tendencia de pérdida de cobertura de bosque es importante resaltar que para los años 2020, 2021 y 2022 se estabilizó, años de restricciones por pandemia Covid-19, Fuente, Elaboración propia, realizado con ArcGIS Pro-2.3.

La evaluación de la conectividad espacial de los manglares y su interrelación con la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique permitió comprender de manera concisa y precisa cómo estas dinámicas influyen en la biodiversidad, de los ecosistemas asociados y analizar el impacto de la conectividad de

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

los manglares en la estructura del bosque, proporcionando una visión integral de la salud de estos ecosistemas y su importancia para la conservación de la diversidad biológica en la mencionada región.

Para ello se utilizó el software especializado código libre FRAGSTAT para evaluar la ecología del paisaje para cuantificar la configuración espacial de los paisajes y analizar patrones de fragmentación del hábitat

Se estimó el grado de fragmentación del bosque y el área total

$$F = \text{área de bosque (ha)} / \text{área total (ha)}$$

Los valores de F = varían entre 0 y 1 y se caracterizan de acuerdo con los siguientes intervalos de valores: $F = 1$, sin fragmentación; $1 > F \geq 0,7$, fragmentación moderada; $0,7 > F \geq 0,5$, altamente fragmentado; $0,5 > F$, Insularizado. (Lozano 2011), mencionado por (Galván et. al, 2019).

Tabla 7 Niveles de fragmentación

Año	NP	Bosque	Área Total	Grado de Fragmentación	Categoría
2023	220	10733.25	195766.7681	0.05	Insularizado
2022	219	10728.35	17712.9721	0.61	Fragmentación moderada
2021	217	10928.23	17800.2723	0.61	Fragmentación moderada
2020	253	11067.97	18391.2269	0.60	Fragmentación moderada
2019	289	14104.91	18391.2269	0.77	Fragmentación moderada
2018	307	14735.54	18391.2269	0.80	Altamente Fragmentado
2017	323	14060.44	18391.2269	0.76	Altamente Fragmentado
2016	333	15970.44	20766.7681	0.77	Altamente Fragmentado
2015	450	20233.75	24566.7681	0.82	Insularizado
2014	480	21190.07	24576.7681	0.86	Insularizado
2013	500	26440.37	27976.7681	0.95	Insularizado

Nota: La tabla revela la variación anual en el grado de fragmentación, destacando años críticos con altos niveles de fragmentación que requieren atención para la conservación del bosque y la biodiversidad, Elaboración propia, realizado con Excel.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 8 Ponderación de los niveles de fragmentación

Descripción	Nivel de Fragmentación	Nivel	Concepto
F = 1: Sin fragmentación	1		Área sin fragmentación
F = ≥ 0.7 : Fragmentación moderada	0.7		Fragmentación moderada
F = ≥ 0.5 : Altamente fragmentado	0.5		Alta fragmentación con áreas significativas
F: Insularizado (aislamiento)	0.5		Altamente fragmentado y desconectado

Nota. Tabla de ponderación para categorizar el nivel de la fragmentación, adaptado de (Galván et. al, 2019), elaborado con Excel.

Figura 8 Grafica de la fragmentación del bosque



Nota. Tendencia de los niveles de fragmentación para el periodo 2013-2023, Elaboración propia, elaborado con ArcGIS Pro.

Se evaluó la conectividad utilizando la metodología que estableció Saura (2008), basados en un enfoque de grafos espaciales. Implico la generación de una estructura de grafos que representa la conectividad entre las unidades geográficas, denominadas parches o teselas. Estos grafos consisten en nodos que representan las teselas y enlaces que simbolizan las conexiones o relaciones entre los fragmentos de hábitat. En otras palabras, se construye una red que refleja la capacidad de las especies para desplazarse entre estas unidades geográficas. La Tabla 8 proporciona un resumen visual de esta red de conectividad.

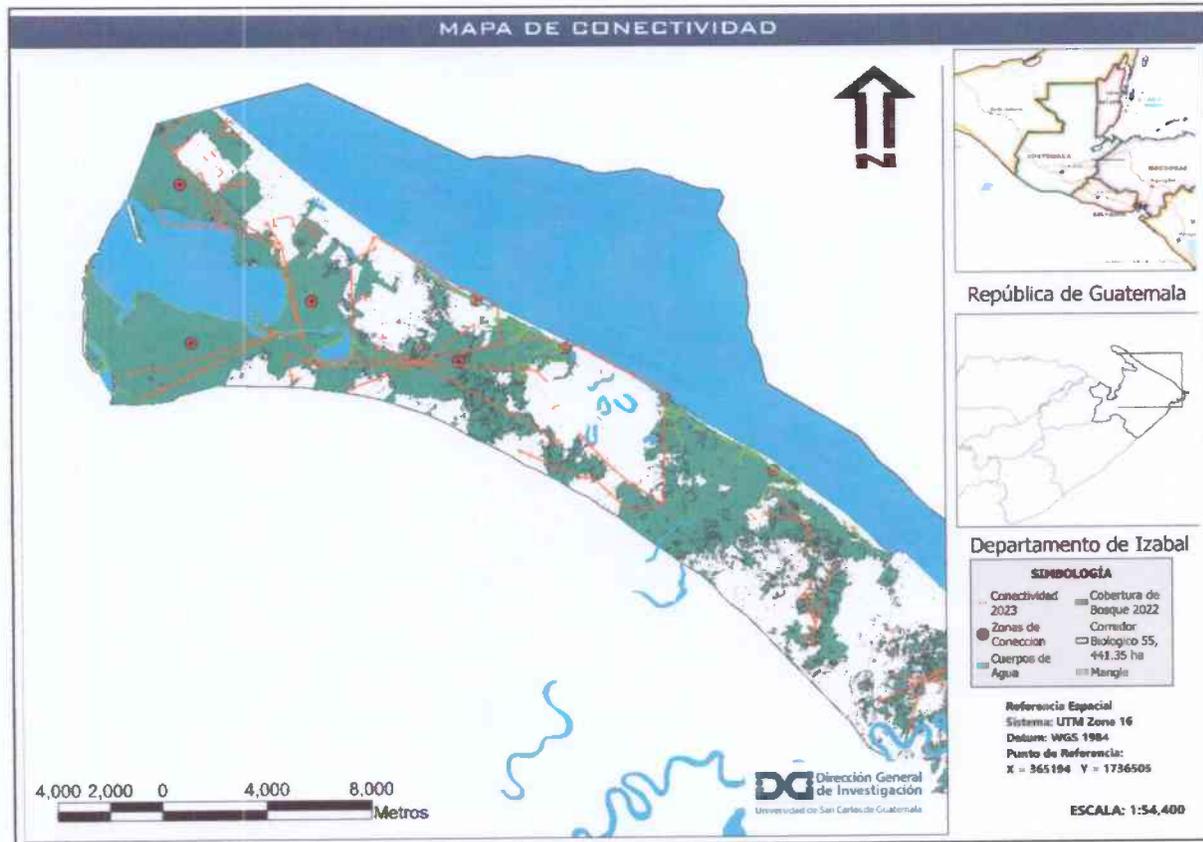
Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 9 Componentes de la conectividad utilizando metodología espacial de grafos.

Ecología del paisaje	Teoría de grafos
Paisaje	Grafo
Tesela	Nodo
Conexión funcional	Enlace
Conexión funcional	Componente

Nota. Se muestra los componentes para la evaluación de la conectividad, nodos, aristas.
Elaboración propia, realizado con Excel.

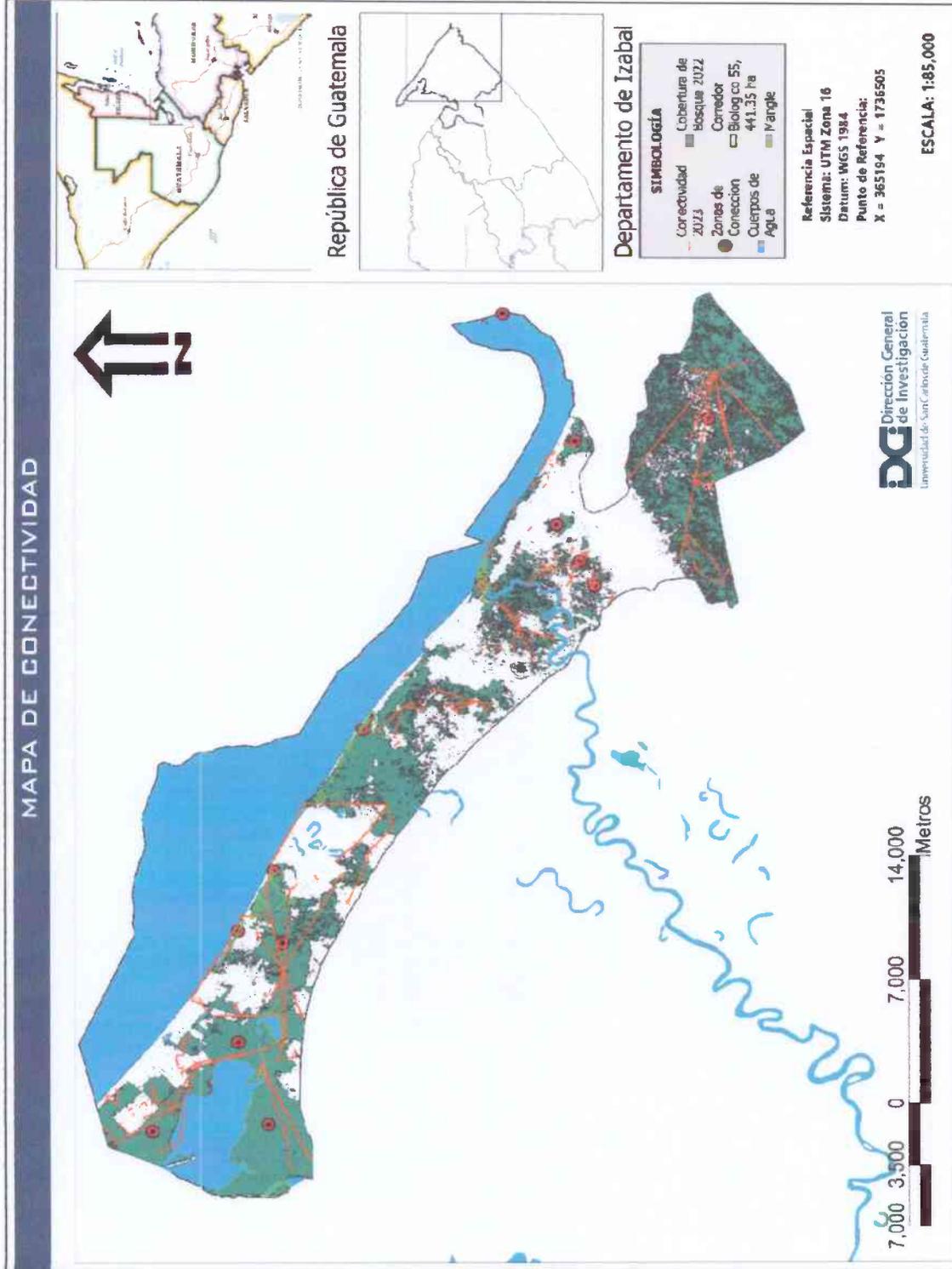
Figura 9 Mapa temático de conectividad



Nota. Mapa temático donde se aprecia la red de conectividad, Elaboración propia, realizado con ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Figura 10 Mapa de conectividad del CBS



Nota. Áreas de conectividad en el Corredor Biológico Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique, Fuente Elaboración propia. realizado con ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Los resultados obtenidos del cálculo de la precisión e incertidumbre en el mapeo espacial de la fragmentación y conectividad de los manglares en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique revelan aspectos fundamentales sobre la configuración y robustez de estos ecosistemas. Ver Figura 11.

Figura 11 Matriz para poblaciones finitas

Matriz de Tamaños Muestrales para diversos márgenes de error y niveles de confianza, al estimar una proporción en poblaciones Finitas										
N [tamaño del universo]	497 ← Escriba aquí el tamaño del universo									
p [probabilidad de ocurrencia]	0.5 ← Escriba aquí el valor de p									
Nivel de Confianza (alfa)	1-alfa/2	z (1-alfa/2)								
90%	0.05	1.64								
95%	0.025	1.96								
97%	0.015	2.17								
99%	0.005	2.58								
Fórmula empleada										
$n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}} \quad \text{donde:} \quad n_o = p*(1-p)* \left(\frac{z (1-\frac{\alpha}{2})}{d} \right)^2$										
Matriz de Tamaños muestrales para un universo de 497 con una p de 0.5										
Nivel de Confianza	d [error máximo de estimación]									
	10.0%	9.0%	8.0%	7.0%	6.0%	5.0%	4.0%	3.0%	2.0%	1.0%
90%	59	71	87	108	136	175	228	298	384	463
95%	80	96	115	141	174	217	272	339	412	473
97%	95	112	134	162	197	242	297	360	425	477
99%	125	145	171	202	239	285	336	392	444	483

Nota. Proceso que se realizó para determinar las muestras al azar con random point, Adaptado de Orozco y Pineda, 2019. *Revista Internacional de Aprendizaje*, pp. (27), 1-27.

Para un margen de error del 5.0%, se generó una muestra de tamaño 339.

N [tamaño del universo]= 497

p [probabilidad de ocurrencia]= 0.5

Nivel de confianza = 95%

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 10 *Distribución de las muestras*

Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique							
Clases	Fragmentación y conectividad					Total	Error de Comisión
	Mangle	Aguas Abiertas	Bosque	no bosque	infraestructura		
Mangle	20	17	2	6	0	45	25
Aguas Abiertas	0	100	0	0	0	100	0
Bosque	0	0	71	3	0	74	3
No bosque	0	0	32	83	0	115	32
Infraestructura	0	0	0	0	5	5	0
Error de Emisión	0	32	52	46	16	339	
Total	20	149	157	138	21		

Nota: distribución de las muestras para determinar el nivel de precisión, Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 11 *Porcentaje de precisión*

	Ítem	Índice	%
Precisión global o concordancia general	po	0.82	82%
Proporción esperada	pe	0.38	38%
	K	0.7	80

Nota. La evaluación espacial de la fragmentación del bosque y la conectividad de los manglares presento una precisión del 82%.

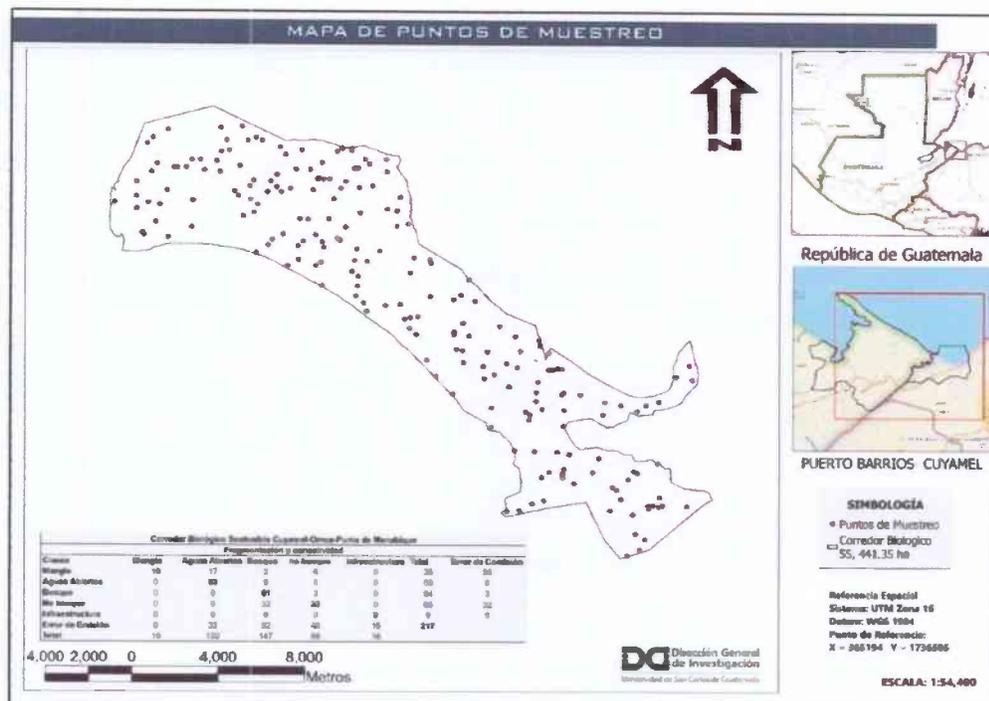
Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Tabla 12 Porcentaje de precisión Índice Kappa

Clases	Error de Com (%)	Error de Omi (%)	Precisión Global (po)	Precisión Global (po) %	Índice K	Índice K (%)
Mangle	7.375	0				
Aguas Abiertas	0	9.439528024				
Bosque	0.885	15.33923304	0.82	82%	0.7	80
No Bosque	9.44	13.56932153				
Infraestructura	0	4.719764012				

Nota. El porcentaje del índice Kappa muestra un 0.7 lo que significa que tiene una buena concordancia.

Figura 12 Mapa de la distribución de puntos de muestreo



Nota. Muestras generadas con la herramienta de random point de ArcGIS Pro, Fuente Elaboración propia, realizado con ArcGIS Pro.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

12.2 Discusión de resultados

La evaluación espacial de la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique revela una tendencia a la fragmentación Insularizado en los últimos años. Los valores del índice de fragmentación muestran una disminución en la conectividad del bosque, indicando la presencia de múltiples parches dispersos. Este fenómeno podría tener implicaciones significativas para la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas asociados.

La conectividad de los manglares en la misma región se ha mantenido relativamente estable durante el período evaluado. A pesar de la fragmentación observada en el bosque circundante, los manglares parecen mantener interconexiones adecuadas. Esto sugiere una resistencia relativa a la fragmentación en comparación con el bosque circundante, lo cual podría estar relacionado con las características específicas de los manglares y las acciones de protección y conservación por parte de los entes administradores y cooperación Internacional, y ONG'S que tienen influencia comunidades costeras que comprenden la importancia del ecosistema manglar en los servicios ecosistémicos que presta.

La alta fragmentación del bosque, especialmente en los últimos años, plantea preocupaciones sobre el impacto potencial en la biodiversidad y en la capacidad de los organismos para moverse entre los fragmentos de hábitat. La insularización progresiva del bosque podría limitar la diversidad genética y la salud de las poblaciones animales y vegetales, subrayando la importancia de estrategias de conservación y restauración para mantener la integridad ecológica en el Corredor Biológico Sostenible.

La combinación de herramientas cartográficas y técnicas de evaluación espacial ofrece una comprensión más profunda de la dinámica de estos bosques costeros, permitiendo una toma de decisiones informada para la conservación y gestión de este importante corredor biológico.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

13 Conclusiones

1. En la estimación de la variación espacial en el espacio-tiempo de la fragmentación del bosque en el periodo 2013-2023 se estimó que la pérdida de bosque es alarmante con una estimación del 58% de pérdida lo que ocasiona una mayor fragmentación lo que da como resultado que disminuya la conectividad del bosque, reflejada en valores decrecientes del índice de fragmentación, revela la presencia de múltiples parches dispersos. Esta dinámica sugiere un escenario que podría tener consecuencias significativas para la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas, planteando desafíos que requieren atención y estrategias de conservación urgentes.
2. La evaluación de la fragmentación del bosque y la conectividad de los manglares muestra patrones significativos. Para el año 2023 se muestra una fragmentación nivel Insularizado lo que podría limitar la biodiversidad y la salud de poblaciones de flora y fauna, pero para los años 2019, 2020, y 2021 se mostró una fragmentación moderada es importante mencionar que para dichos años se tuvo una serie de restricciones para muchas actividades por el SARS-2 lo que pudiera ser un factor significativo en tener esa estabilidad cabe mencionar que la pérdida de bosque impacta directamente en la fragmentación.
3. La evaluación de la precisión e incertidumbre del mapeo espacial revela ciertos desafíos en la clasificación del uso del suelo se obtuvo un 82 % de precisión con un índice Kappa de 0.7 lo que indica que la evaluación espacial tuvo una buena concordancia.
4. La evaluación espacial de la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque revela una tendencia alarmante de pérdida de bosque, ha resultado en una mayor fragmentación, evidenciada por la presencia de múltiples parches dispersos y una disminución en la conectividad. A pesar de la estabilidad relativa en la conectividad de los manglares, especialmente en comparación con el bosque circundante, la insularización progresiva del bosque plantea preocupaciones significativas para la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas circundantes.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

14 Recomendaciones

1. Ante la alarmante pérdida de bosque en el área de estudio se recomienda a las entidades responsables por velar por la conservación, protección y rehabilitación, como lo es: Comunidades Costeras, Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Instituto Nacional de Bosques (INAB) Cooperación Internacional, Grupo Gestor, y ONG'S la implementación inmediata de estrategias de conservación, protección y priorizando áreas para rehabilitar. Esto puede incluir la creación de áreas para, la aplicación de prácticas de manejo forestal sostenible y la promoción de actividades de reforestación. La colaboración entre instituciones gubernamentales, organizaciones ambientales y comunidades locales es esencial para garantizar el éxito de estas estrategias.
2. Dada la dinámica cambiante del paisaje y la influencia directa de la pérdida de bosque en la conectividad de los manglares, se recomienda establecer un programa de monitoreo tradicional utilizar tecnologías espaciales para el monitoreo continuo, recopilar información y generación de cartografía actualizada de manera regular de datos espaciales, imágenes satelitales actualizadas y evaluaciones periódicas de la salud del ecosistema. El monitoreo proporcionará información crucial para evaluar el impacto de las estrategias de conservación y ajustarlas según sea necesario.
3. Con base en los resultados que indican que la evaluación espacial se obtuvo una alta precisión, se sugiere mejorar la precisión del mapeo espacial combinando imágenes ópticas de mayor resolución con imágenes de radar ya que estas se obtienen en cualquier circunstancia meteorológica, esta combinación podría mejorar la precisión en la aplicación de algoritmos más avanzados, y la integración de técnicas de aprendizaje automático. Asimismo, se recomienda la capacitación del personal encargado del mapeo para optimizar la interpretación de las imágenes y la clasificación de las clases de cobertura.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

4. Se recomienda a entidades responsables de generar conocimientos científicos como la Universidad San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Escuela de Postgrado de Ingeniería del programa de Geomática, Instituto de Investigación del Caribe de Izabal (IICI-CUNIZAB) realizar investigaciones del uso de herramientas espaciales ya que esta presentó un 82% de precisión

15 Referencias

- Saura. (2004). Comparación de índices de fragmentación estimados en imágenes de satélites con distinta resolución espacial. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*. pp. (6) 89-94 ISSN 1133-0953.
- Huang, Andrello Martensen, Saura, Liu, He y Fortin. (2020). Importance of spatio-temporal connectivity to maintain species experiencing range shifts. *Ecography*. pp. (13) 1-13. doi: 10.1111/ecog.04716.
- Tompalski, White, Coops, Wulder Woods (2019). Demonstrating the transferability of forest inventory attribute models derived using airborne laser scanning data. *Remote Sensing of Environment*. Canada. pp. (15) 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.006>
- Otavo y Echeverría. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosque naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. UNAM. México. pp. (12) 924-935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- Cabrera, Catalán, Cajas, Ortiz, Machuca, Flores. (Ed. Gaitán). (2021). *Estudio Biológico Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique*. Roma Italia; CISP.
- Cayuela. (2006). *Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles*. *Ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Madrid. España. pp (7) 192-198.
- Chuvieco, E., (2010). *Teledetección Ambiental*. Barcelona España. Ariel, S.A
- Dávila, García, Velásquez, 2019, en la investigación del Aporte al Conocimiento de la Conectividad del Manglar en Las Lisas-La Barrona, Guatemala Lisas-La Barrona, Guatemala Vol. 6 Num. 2 pp. (13) 107-119.
- Edward A. Ellis, A. Navarro Martínez, M. García Ortega, I. U. Hernández Gómez & D. Chacón Castillo (2020) Forest cover dynamics in the Selva Maya of Central and Southern Quintana Roo, Mexico: deforestation or degradation, *Journal of Land Use Science*, 15:1, pp (26) 25-51

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Galván-Guevara, S., Ballut-Dajud, G., & De La Ossa, J. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia. *Biota Colombiana*, pp. (16) (2), 149-157. ISSN: 0124-5376.
- Galván-Guevara, S., Ballut-Dajud, G., & De La Ossa, J. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(2), 149-157. ISSN: 0124-5376.
- Google Earth Engine. 2021. Recuperado de:
<https://developers.google.com/earthengine/datasets> McGarigal, K., SA Cushman y E Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Programa de análisis de patrones espaciales para mapas categóricos y continuos. Programa de software de computadora.
- Hermosilla, Wulder, White, Coops, Pickell, Bolton. (2019). Impact of time on interpretations of forest fragmentation. Three-decades of fragmentation dynamics over Canada, *Remote Sensing of Environment*, Volumen (222), pp. (13) 65-77,
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.027>.
- Hermosilla, Wulder, White, Coops, Pickell, Bolton. (2019). *Impact of time on interpretations of forest fragmentation: Three-decades of fragmentation dynamics over Canada*, *Remote Sensing of Environment*, Volume 222, pp (13) 65-77, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.027>.
- <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/presscenter/articles/2018/10/ecosistema-manglar.html>.
- <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/presscenter/articles/2018/10/ecosistema-manglar.html>
- Huang, Andreello Martensen, Saura, Liu, He y Fortin. (2020). *Importance of spatio-temporal connectivity to maintain species experiencing range shifts*. *Ecography*. Pp. (13) 1-13. doi: 10.1111/ecog.04716.
- Imbernon, Villacorta, Zelaya y Valle, (2005). Fragmentación y conectividad del bosque en El Salvador Aplicación al Corredor Biológico Mesoamericano. *Análisis Espacial. Bois Forests Des Tropiques*. El Salvador. pp (14) 15-28.
- Kupfer, JA (2012). Ecología y biogeografía del paisaje: repensar las métricas del paisaje en un paisaje post-FRAGSTATS. *Progresos en Geografía Física: Tierra y Medio Ambiente*, 36 (3), pp (20) 400-420.
- Liu, Jianxiao, Meilian Wang y Linchuan Yang. 2020. " Assessing Landscape Ecological Risk Induced by Land-Use/Cover Change in a County in China: A GIS and Landscape-Metric-Based Approach" *Sustainability* 12, no. 21 pp (18) 1-18.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

- Mingming Jia et, al. (2019). A New Vegetation Index to Detect Periodically Submerged Mangrove Forest Using Single-Tide Sentinel-2 Imagery. Remote sensing. China. pp. (17) 1-17.
producido por los autores en la Universidad de Massachusetts, Amherst. Disponible en el siguiente sitio web: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA. (2013). Manejo Integrado De Las Zonas Costeras Y Gestión Sostenible De Los Manglares En Guatemala, Honduras y Nicaragua. Honduras. pp. (29), 1-29.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA. (2018). Objetivos del desarrollo sostenible. Guatemala. PNUD Guatemala.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA. (2018). Objetivos del desarrollo sostenible. Guatemala. PNUD Guatemala.
- Rosales. (Ed. Gaitán). (2021). *Plan Estratégico Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique*. Gland, Suiza. UICN. CISP. Roma, Italia. pp. (93) 1-93.
- Saura. (2004). *Comparación de índices de fragmentación estimados en imágenes de satélites con distinta resolución espacial*. Revista de la Asociación Española de Teledetección. pp. (6) 89-94.
- Saura. S, (2019). *Metodologías para el análisis de la conectividad*. Recuperado de [video] <https://www.youtube.com/watch?v=K3eHoB7PvBM>
- Saura.S, (2019). *Curso sobre la conectividad ecológica del paisaje*. Recuperado de [video] <https://www.youtube.com/channel/UCKqPnYSZQ0-5y1A-w2Tdbtw>
- Slattery y Fenner, (2021). Spatial Analysis of the Drivers, Characteristics, and Effects of Forest Fragmentation. Sustainability 2021, 13 pp (22) 1-22.
- Suratman. (2014). Remote Sensing Technology: Recent Advancements for Mangrove Ecosystems. Universiti Teknologi. Malasia. pp. (23) 295-317.
- Tompalski, White, Coops,. WulderWoods (2019). *Demonstrating the transferability of forest inventory attribute models derived using airborne laser scanning data*. Remote Sensing of Environment. Canada. pp. (15) 110-124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.006>
- Vogelman, J. E 1995. Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. Conservation Biology.

16 Apéndice

Agregue aquí mapas, fotografías, esquemas, códigos de computadoras, encuestas y documentos que se considere para respaldar las actividades y resultados de su investigación.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

17 Vinculación

Para el desarrollo de esta investigación se logró obtener vínculos con las instituciones y organizaciones siguientes:

Consejo Nacional Áreas Protegidas/Nororiente -CONAP-

Es el ente rector de las áreas protegidas en el país, este vínculo se tendrá directamente con la Unidad Técnica de Punta de Manabique.

Asociación Programa de Gestión Ambiental Local -ASOPROGAL-

Es la organización del grupo gestor del Corredor Biológico Sustentable Cuyamel- Omoa- Punta de Manabique.

18 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

En la filiación debe de anotarse la Universidad de San Carlos de Guatemala. Caso contrario no se concederá nuevos financiamientos de ninguna índole.

Para la divulgación se utilizará la estrategia se realizará una presentación de resultados ante el grupo gestor y entes administrativos a los cuales se realizarán las recomendaciones resultado de la investigación, también se realizará a través de: redes sociales, página web del Centro Universitario de Izabal, y compartir el artículo en la revista general de investigaciones -DIGI-. Se compartirán los resultados con el grupo gestor y los entes administradores del área, organismos de cooperación internacional.

19 Aporte de la propuesta de investigación a los Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND) identificando su meta correspondiente:

La investigación sobre la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque en el Corredor Biológico Sostenible Cuyamel-Omoa-Punta de Manabique contribuye significativamente a las Prioridades Nacionales de Desarrollo en Guatemala. En particular, los resultados de la investigación están alineados con las metas establecidas en el Nodo Prioritario 1, "Bienestar Social y Calidad de Vida".

La pérdida alarmante de bosque y la consecuente fragmentación identificadas en el estudio tienen implicaciones directas para el bienestar social y la calidad de vida de las comunidades locales que dependen de estos ecosistemas para su sustento y recursos.

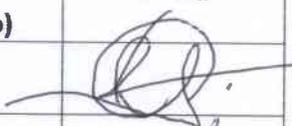
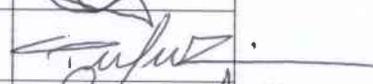
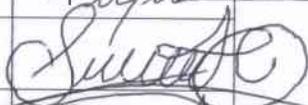
La investigación también aporta a la meta de "Conservación de la Biodiversidad y Protección del Medio Ambiente" dentro del mismo Nodo Prioritario 1. Al comprender la variación espacial en la conectividad de los manglares y la fragmentación del bosque, se generan datos valiosos para orientar estrategias de conservación, restauración y manejo sostenible de estos ecosistemas críticos.

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

Desde una perspectiva académica, la investigación amplía el conocimiento sobre la dinámica espacial de los manglares y bosques, contribuyendo al avance de la ecología y la gestión ambiental. Además, proporciona una base para futuras investigaciones y políticas orientadas a la preservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental en la región.

Económicamente, la investigación ofrece información clave para el diseño de políticas y programas que promuevan el desarrollo sostenible, considerando la relación entre la conectividad de los manglares, la fragmentación del bosque y la generación de ingresos para las comunidades locales a través de prácticas de conservación y uso sostenible de los recursos forestales.

20 Orden de pago final (incluir únicamente al personal con contrato vigente al 31 de diciembre de 2023)

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Braulio Rafael Hernández Osuna	Titular I	20230607		
Jorge Alejandro Sologastoa Dardón	Titular I	20201137		
Andrea Margarita Smith López	Titular I	20230804		
Melany Brigitte Ramírez Jiménez	Auxiliar II	20210980		

21 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Jeff Hendrik Taqué Aroche	Firma: 
Fecha: 30/11/2023	

Informe final de proyecto de investigación. Año 2023

21 Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<p>Vo.Bo. M.Sc. Mario Estuardo Salazar Rodríguez Coordinador del Instituto Del Caribe de Izabal</p>	 Firma
<p>Fecha: 30/11/2023</p>	

22 Visado de la Dirección General de Investigación

<p>Vo.Bo. Andrea Eunice Rodas Coordinadora PUIRNA</p>	 Firma
<p>Fecha: 30/11/2023</p>	

<p>Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de programas</p>	<p>Firma</p> 
<p>Fecha: 30/11/2023</p>	

Ing. MARN Julio Rufino Salazar Pérez
Coordinador General de Programas de
Investigación, Digi-Usac

/Digi2023