

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras



**Conectividad del Ecosistema Manglar para las Aves del Humedal
Costero Las Lisas-La Barrona, Guatemala**

Celia Vanessa Dávila Pérez

Guatemala, noviembre de 2019



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras**

**Conectividad del Ecosistema Manglar para las Aves del Humedal
Costero Las Lisas-La Barrona, Guatemala**

Celia Vanessa Dávila Pérez

Guatemala, noviembre de 2019

**Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-**

Consejo Directivo

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Morán
Secretario	Dr. Pedro Julio García Chacón
Representantes Docentes	M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón Dr. Pedro Julio García Chacón
Representante del Colegio de Médicos Veterinarios, Zootecnistas y Acuicultores	Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega
Representantes Estudiantiles	Br. Karol Rubí Rivas Díaz Br. Alejandra Raquel Contreras Perdomo

Consejo Académico del Departamento de Estudios de Postgrado

Presidente	Dra. Juana Lorena Boix Morán Directora CEMA-USAC
Secretaria	M. Sc. Irene Franco Arenales Directora de Departamento de Postgrado
Coordinador Maestría en Ciencias Marinas y Costeras	M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón Coordinador de Programa

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

**Conectividad del ecosistema manglar para las aves del humedal costero Las
Lisas-La Barrona, Guatemala**

TESIS

Presentada al Consejo Académico de CEMA, Departamento de Estudios de Postgrado, en cumplimiento con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Postgrado -SEP- y el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala

Por:

Celia Vanessa Dávila Pérez

**Como requisito para optar al grado académico de
Maestra en Ciencias**

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
Departamento de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

Trabajo presentado por:

Celia Vanessa Dávila Pérez

Autora

M.Sc. Pilar de María Velásquez Jofre

Asesora

M. Sc. Irene Franco Arenales

Directora del Departamento de Estudios de Postgrado

Imprímase

Dra. Juana Lorena Boix Morán

Directora

Agradecimientos

Quiero agradecer con especial afecto su colaboración en este estudio y la posibilidad de llevarlo a cabo a:

- Manolo, por todos los sacrificios que hiciste para apoyarme, postgrado e hija no fue tan fácil. Mi agradecimiento infinito para ti.
- Pilar, como siempre mi amiga y asesora, sin su apoyo no tendría el respaldo técnico de su profesionalismo.
- Celia, por su apoyo incondicional y su tiempo, como siempre sé que cuento contigo mami.
- Silvia y María Victoria, por el tiempo dedicado al cuidado de mi hija Luz Daniela, sin su apoyo jamás hubiera tenido el tiempo suficiente para terminar este estudio.
- Toyita y Manolo, por su apoyo invaluable y su confianza, representan la red de apoyo con la que me sostengo.
- A mi hija Luz Daniela, por brindarme su inteligencia y su paciencia y llenarme de esperanza para cursar la maestría. Gracias por tu sonrisa que siempre me seguirá alentando a seguir avanzando.

Dedicatoria

A todos los humedales marino costeros de Guatemala, ojala valoráramos más los bienes y servicios que nos dan y entendiéramos lo mucho que dependemos de ellos.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo identificar los sitios prioritarios para la conectividad del ecosistema manglar en el humedal costero Las Lisas-La Barrona a través de las aves. La misma partió del hecho de que la estabilidad de los manglares se sustenta en la conectividad y que si ésta es afectada, se pone en riesgo su función de hábitat para las especies de aves. Actualmente el ecosistema manglar del humedal Las Lisas-La Barrona está siendo afectado por una variedad de actividades humanas provocando su reducción y fragmentación. Debido a ello, se estimó la conectividad estructural y funcional, se identificaron las amenazas para la conectividad y se estimó la concentración de flujos y resistencia entre parches del ecosistema manglar; a partir de lo anterior, se identificaron los sitios prioritarios para la conectividad del ecosistema manglar, con lo cual se emitieron recomendaciones para la conservación, manejo y restauración del humedal. El componente estructural de la conectividad a través del Análisis del Patrón Espacial Morfológico (MSPA, por sus siglas en inglés) clasificó los tipos de parches por su forma y porcentaje de cobertura en: tipo núcleo (80.94%); tipo borde (11.66%); perforaciones inmersas en los núcleos (3.59%); conectores entre parches como los tipo rama (1.49%), lazo (0.99%) y puente (0.81%); y otros, como los parches tipo isla (0.52%). El componente funcional de la conectividad, estimado con el Diferencial del Índice Integral de Conectividad (dIIC), evaluó el aporte de cada parche a la conectividad del manglar con base en la dispersión de las aves. Se encontró que en las localidades El Jiote y La Barrona, se encuentran los principales parches para la conectividad funcional del manglar. De acuerdo al análisis de corriente acumulada, los parches en Las Lisas y El Ahumado forman un cuello de botella, por lo que son un fragmento crítico para la conectividad del ecosistema, el cual necesita intervenciones para su recuperación tanto estructural como funcional.

Abstract

The purpose of this research was to identify the priority sites for the connectivity of the mangrove ecosystem in the Las Lisas-La Barrona coastal wetland through birds. It was based on the fact that the stability of the mangroves is based on connectivity and that if it is affected, its habitat function is at risk for bird species. Currently the mangrove ecosystem of the Las Lisas-La Barrona wetland is being affected by a variety of human activities causing its reduction and fragmentation. Because of this, structural and functional connectivity was estimated, threats to connectivity were identified, and the concentration of flows and resistance between patches of the mangrove ecosystem was estimated; From the above, the priority sites for the connectivity of the mangrove ecosystem were identified, which issued recommendations for the conservation, management and restoration of the wetland. The structural component of connectivity through the Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) classified the types of patches according to their shape and coverage percentage in: core type (80.94%); edge type (11.66%); perforations immersed in the cores (3.59%); connectors between patches such as branch type (1.49%), loop (0.99%) and bridge (0.81%); and others, such as island patches (0.52%). The functional component of connectivity, estimated with the Integral Connectivity Index Differential (dIIC), evaluated the contribution of each patch to mangrove connectivity based on bird dispersal. It was found that in the localities El Jiote and La Barrona, there are the main patches for the functional connectivity of the mangrove. According to the analysis of accumulated current, the patches in Las Lisas and El Ahumado form a bottleneck, so they are a critical fragment for ecosystem connectivity, which needs interventions for both structural and functional recovery.

Índice de contenido

1. Introducción	1
2. Marco teórico y estado del arte	3
2.1 Marco teórico	3
2.1.1 Planificación del territorio.....	3
2.1.2 Ecología del paisaje.....	3
2.1.3 Conectividad ecológica	4
2.1.4 Conectividad ecológica en las zonas marino costeras.....	8
2.2 Estado del Arte.....	10
2.2.1 Aves del ecosistema manglar como especies indicadoras.....	10
2.2.2 Aplicación de los conceptos de la metodología de Patrimonio natural	12
3. Objetivos	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4. Materiales y métodos	17
4.1 Diseño metodológico.....	17
4.2 Descripción detallada de la ubicación geográfica de la investigación	20
4.3 Tipo de investigación	22
4.4 Técnicas e instrumentos	22
4.5 Muestreo y selección de la muestra.....	27
4.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis	27
5. Resultados	28
5.1 Estimar la conectividad estructural y funcional del ecosistema manglar	28
5.2 Caracterizar las amenazas para las aves y la conectividad del ecosistema manglar	43
5.3 Priorizar áreas de importancia para las aves con base en la conectividad y sus amenazas	47
6. Discusión	49
6.1 Estimar la conectividad estructural y funcional del ecosistema manglar.....	49
6.2 Caracterizar las amenazas para las aves y la conectividad del ecosistema manglar	56
6.3 Priorizar áreas de importancia para las aves con base en la conectividad y sus amenazas.	62
7. Conclusiones	72
8. Recomendaciones	74
9. Referencias bibliográficas	75
10. Anexo	83

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Esquema del diseño metodológico	19
<i>Figura 2.</i> Mapa del área de estudio	21
<i>Figura 3.</i> Mapa sobre el uso del suelo del humedal Las Lisas-La Barrona	34
<i>Figura 4.</i> Mapa del ecosistema manglar del humedal Las Lisas-La Barrona	35
<i>Figura 5.</i> Patrón morfológico espacial del ecosistema manglar del área de estudio.....	36
<i>Figura 6.</i> Mapa sobre el valor del dIIC <i>intra</i> para especies que se dispersan 5 km.....	37
<i>Figura 7.</i> Mapa sobre el valor del dIIC <i>intra</i> para especies que se dispersan 10 km.....	38
<i>Figura 8.</i> Mapa sobre el valor del dIIC <i>flux</i>) para especies que se dispersan 5 km	39
<i>Figura 9.</i> Mapa sobre el valor del dIIC <i>flux</i>) para especies que se dispersan 10 km.....	39
<i>Figura 10.</i> Mapa sobre el valor del dIIC <i>connector</i> para especies que se dispersan 5 km	40
<i>Figura 11.</i> Mapa sobre el valor del dIIC <i>connector</i> para especies que se dispersan 10 km	41
<i>Figura 12.</i> Mapa mostrando el <i>dIIC</i> para especies con 5km de valor de dispersión.....	42
<i>Figura 13.</i> Mapa mostrando el <i>dIIC</i> para especies con 10 km de valor de dispersión.....	42
<i>Figura 14.</i> Mapa de resistencia del paisaje al movimiento.	46
<i>Figura 15.</i> Mapa mostrando las amenazas y la conectividad del ecosistema manglar	47
<i>Figura 16.</i> Mapa del análisis de circuitos.....	48

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Coordenadas geográficas del área de estudio.</i>	22
Tabla 2. <i>Grupos funcionales de aves del humedal Las Lisas-La Barrona.</i>	28
Tabla 3. <i>Valor de la distancia de dispersión por grupo de acuerdo a las especificaciones de grupos funcionales de aves (Nature Serve).</i>	32
Tabla 4. <i>Áreas de cobertura y usos del suelo para el año 2018 del área de estudio.</i>	34
Tabla 5. <i>Porcentaje de cada clase del patrón morfológico espacial del ecosistema manglar para el área de estudio.</i>	36
Tabla 6. <i>Descripción de las fuentes de presión y amenazas presentes en el humedal Las Lisas-La Barrona.</i>	43
Tabla 7. <i>Tipo de Cobertura y usos del suelo, y valor de resistencia del paisaje al movimiento</i>	45
Tabla 8. <i>Consideraciones para las acciones de restauración del humedal Las Lisas -La Barrona.</i>	68

1. Introducción

A nivel global, la diversidad biológica y en especial la marino costera, así como sus servicios ecosistémicos, han sido identificados como elementos estratégicos del desarrollo humano por los beneficios que proporcionan (Costanza, et al., 1997). A nivel mundial la mayoría de humedales marino costeros están siendo afectados por una variedad de actividades humanas desde hace décadas (van den Belt, & Cole, 2014), provocando la degradación de la diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos (Bennett, et al., 2017). Por lo anterior, existen medidas alternativas que pueden ayudar a mejorar el manejo y aprovechamiento de los humedales, pudiendo éstos ser gestionados a través de herramientas de manejo. En el caso de los sitios importantes para las aves acuáticas estos pueden ser propuestos como sitios de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas en el marco de la Convención relativa a los humedales de importancia internacional para las aves (Ramsar Convention Secretariat, 2010).

El humedal Las Lisas-La Barrona se encuentra ubicado en la costa Este del Pacífico de Guatemala. Posee un 40% de cobertura de ecosistema manglar, siendo notable por su importancia ecológica, social y económica (Boix, Rinze, García, Montiel, & Ortiz, 2011; Dávila, García y López, 2014; López, 2011; García, Taracena, Marroquín, & Aceituno, 2000; Salazar, & Sigüenza, 2010). Sin embargo, al igual que otros humedales del Pacífico de Guatemala existe pérdida de cobertura de manglares derivada de las actividades humanas, por lo que requiere de planificación y ordenamiento territorial para mejorar su uso y manejo sostenible.

El conocimiento sobre la conectividad del paisaje puede ser aplicado en la planificación de los ecosistemas y generar herramientas de manejo para disminuir la degradación y pérdida de ecosistemas proveedores de las especies de los humedales (Engelhard, et al., 2016; Rubio, et al., 2012). Por consiguiente, como un aporte a la planificación del humedal Las Lisas-La Barrona, la presente investigación realizó la estimación de la conectividad del ecosistema manglar en función de las especies de aves, generando así una priorización de sitios estratégicos para la conectividad, como un aporte científico útil para los gestores,

investigadores y tomadores de decisiones en la planificación espacial y zonificación del humedal, en el marco de la construcción de sus herramientas de manejo.

Para el análisis de conectividad se utilizaron como especies indicadoras a las aves presentes en el humedal. Las aves son buenos indicadores por varias razones, entre ellas: hay disponibilidad de información sobre su taxonomía, distribución geográfica y requerimientos ecológicos, tienen una biología bien documentada, son fáciles de estudiar, son sensibles a las perturbaciones humanas y están ampliamente distribuidas (Isasi, 2011; Ogden, et al., 2014). Con base a ello, las respuestas obtenidas de los estudios con aves como indicadores permiten la evaluación de las políticas ambientales que se vinculan directamente con las dinámicas sociales humanas, pudiéndose utilizar para identificar tendencias ambientales y las relaciones entre las perturbaciones antropogénicas y el ambiente, cuyas respuestas se pueden utilizar por tomadores de decisiones vinculados con el área (Canterbury, et al., 2000; Nguyen, 2012). Por otro lado, debido a su tamaño, apariencia, hábitat y comportamiento, son altamente conspicuas y estéticamente agradables, estando su abundancia y diversidad relacionados con la salud de los ecosistemas (Isasi, 2011; Ogden, et al., 2014; Ramírez, 2000).

2. Marco teórico y estado del arte

2.1 Marco teórico

2.1.1 Planificación del territorio

Para contrarrestar los efectos negativos provocados por el cambio climático y de la degradación de los ecosistemas, se considera clave la planificación espacial como una de las estrategias para mantener la conectividad ecológica de los ecosistemas en un territorio. Esta planificación para la conservación tiene como objetivo principal fomentar las redes de hábitats conectados que tengan alta probabilidad de mantener la diversidad biológica y los procesos ecológicos a lo largo del tiempo y el espacio a escala de paisaje (Rubio, et al., 2012). Debido a ello, una de las estrategias más importantes para prevenir la pérdida de diversidad biológica es incrementar la conectividad a gran escala identificando redes de ecosistemas que permitan el movimiento de organismos y materiales (Olds, Pitt, Maxwell, & Connolly, 2012).

La conservación de los ecosistemas y sus funciones ecológicas constituye actualmente un gran desafío para gestores vinculados a la planificación y ordenación de los recursos naturales. En este sentido, las soluciones deben centrarse en conectar regiones de gran riqueza biológica, como son los parches de ecosistemas que albergan buena parte de la diversidad biológica de un territorio, por lo que surge la necesidad de incorporar el enfoque de conectividad ecológica en los instrumentos de planificación territorial (Pascual, & Saura, 2008).

El mantenimiento y mejora de la conectividad de los bosques debe considerarse como uno de los objetivos prioritarios de los planes de conservación y planificación de los ecosistemas (Pascual, & Saura, 2008).

2.1.2 Ecología del paisaje

La ecología del paisaje es una disciplina científica que abarca el estudio de los patrones y procesos que existen en los paisajes y que a su vez los modifican. Su aplicación permite un conocimiento de la estructura y dinámica del funcionamiento del paisaje a distintas escalas, lo

que resulta de gran utilidad en procesos de planificación y gestión del territorio (Herrera, & Díaz, 2013).

La visión e interpretación del paisaje desarrollada desde la ecología del paisaje se fundamenta en que se analizan las características estructurales y morfológicas que componen un territorio (Vila, Varga, Llausàs, & Ribas, 2006).

Bajo este enfoque, el paisaje se define como una superficie heterogénea del territorio compuesta por un conjunto de ecosistemas interactuantes, siendo un mosaico donde se pueden diferenciar tres grandes tipos de elementos: los fragmentos (*patches*), los corredores (*corridors*) y la matriz (*matrix*) (Herrera, & Díaz, 2013). Desde un punto de vista funcional las unidades morfológicas y estructurales que componen el paisaje están relacionadas al producirse entre ellas intercambios de energía, materiales, organismos e información (Vila, et al., 2006).

2.1.3 Conectividad ecológica

La conectividad ecológica se puede definir como el movimiento de organismos y materiales a través de los parches de hábitats de un paisaje, donde los organismos se dispersan de acuerdo a sus capacidades y necesidades (Olds, et al., 2012). Debido a ello es necesario que a través de la planificación se promuevan las redes de hábitats conectados que tenga alta probabilidad de mantener la diversidad biológica y los procesos ecológicos a lo largo del tiempo y el espacio a escala de paisaje (Rubio, et al., 2012).

Existen dos componentes que influyen en la conectividad potencial para una especie, uno estructural y otro funcional. El componente estructural lo determina la conexión espacial de diferentes tipos de hábitat en el paisaje y el funcional se refiere a la respuesta en la conducta de los individuos y especies ante la estructura física del paisaje. En este último influyen los requisitos de hábitat de la especie, la tolerancia a hábitats alterados y la fase de vida. En este sentido, las especies, aunque vivan en el mismo hábitat, tienen respuestas conductuales diferentes experimentando a su vez niveles diferentes de conectividad (Bennett, 1998).

La conectividad estructural o espacial se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura, mientras que la conectividad funcional se refiere a la continuidad de los flujos ecológicos que se dan a través del paisaje (Taylor, Fahrig, Henein, & Merriam, 1993).

Conectividad estructural

El componente estructural de la conectividad lo determina la distribución espacial de tipos diferentes de hábitats en el paisaje. En este tipo de conectividad intervienen factores como la “continuidad de hábitats adecuados, la dimensión de las brechas, la distancia que se debe atravesar y la presencia de senderos alternativos o característicos de redes”. Este tipo de conectividad se refiere a la distribución espacial de hábitats para lo que se han propuesto una serie de metodologías cuantitativas (Bennett, 1998).

A este respecto, el Análisis de Patrones Espaciales Morfológicos (MSPA, por sus siglas en inglés) se utiliza para una descripción de estructuras de patrones de imágenes y la detección automática de vías de conectividad estructural (Soille, & Vogt, 2008). Usualmente sirve para detectar perforaciones y conectores en imágenes digitales. Los resultados que genera este análisis consisten en clases de objetos de acuerdo a sus características geométricas y la conectividad en la disposición espacial de los objetos de la imagen. Este proceso de clasificación de objetos se basa en la geometría, pudiéndose aplicar a imágenes de cualquier origen (óptico, radar y térmico, datos satelitales, médicos y forenses, microscopía) (Alonzo-F., Finegan, Brenes, Gunter, & Palomeque, 2017).

El MSPA se realiza en el marco de las teorías de grafos espaciales para identificar los sitios del paisaje de mayor relevancia para mantener la conectividad (Soille, & Vogt, 2008). Se puede emplear mediante el programa informático *GuidosToolbox 2.7*, el cual es una herramienta para la detección y evaluación cuantitativa de los nodos y enlaces clave, así como para definir la conexión en las imágenes raster (Vogt, 2013; Vogt, & Riitters, 2017).

Conectividad funcional

El componente funcional de la conectividad se refiere a la respuesta conductual de individuos y especies a la estructura física del paisaje. Influyen en el factores como la escala en que una

especie percibe y se desplaza dentro del medio ambiente, sus requisitos de hábitat y el grado de especialización del hábitat, su tolerancia ante hábitats alterados, la fase de vida y tiempos de los desplazamientos de dispersión, y la respuesta de la especie ante depredadores y competidores. En consecuencia, aunque vivan en el mismo paisaje, las especies experimentarán niveles diferentes de conectividad (Bennett, 1998).

Una de las metodologías que se utilizan actualmente para conocer la conectividad funcional del paisaje a escalas amplias es la estimación de índices de conectividad y de disponibilidad de hábitat. El programa informático *Conefor Sensinode 2.2* (Saura, & Torné, 2009) es una herramienta cuantitativa desarrollada mediante el proyecto de investigación Conefor REN2003-01628 del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Lleida, España (Pascual, & Saura, 2008) orientada a la toma de decisiones al alcance de los investigadores, gestores y administradores, que facilita la estimación de la conectividad espacial.

Conefor Sensinode 2.2 es un paquete de software que permite cuantificar la importancia de las áreas de hábitat y enlaces para el mantenimiento o la mejora de la conectividad, así como la evaluación de los impactos sobre la conectividad de los cambios en el hábitat y el paisaje (Pascual, Vega, & Saura, s. f.).

La estimación de la conectividad con *Conefor Sensinode 2.2* es útil para identificar los parches de hábitat más críticos para la conservación. Así también, satisface la necesidad del desarrollo de índices que permiten la cuantificación de características ecológicas de los parches y enlaces de hábitat, cuantificando la importancia de los parches de hábitat para los individuos y para el mantenimiento del paisaje funcional, así como la mejora de la conectividad, proporcionado por nuevos sitios de hábitat potenciales que se pueden agregar en el paisaje a través de la creación o restauración del hábitat (Saura, & Torné, 2009).

Se ha demostrado que el uso combinado de métricas del paisaje puede incorporarse de manera efectiva para entender los procesos de conectividad. Para ello se puede utilizar el Índice Integral de Conectividad (*IIC*), que es un índice sensible a todos los cambios negativos que

puedan afectar diferentes mosaicos de hábitats detectando los cambios más críticos (Pascual & Saura, 2006).

A este respecto, las estructuras gráficas son una forma efectiva de representar el patrón del paisaje como una red y realizar análisis de la conectividad del mismo. A través de los índices se pueden establecer los diferentes tipos de cambios que pueden ocurrir en el paisaje reaccionando a la pérdida de parches de hábitat y de corredores, permitiendo identificar qué elementos del paisaje son más críticos para la conservación del hábitat (Pascual, Vega, & Saura, s. f.). El índice *IIC* supone el concepto de disponibilidad de hábitat, el cual es basado en considerar un parche en sí mismo (aunque sea aislado del resto del hábitat) como un espacio donde ocurre la conectividad, aumentando ésta con el tamaño del parche, en este sentido, el índice *IIC* es un índice de disponibilidad de hábitat, integrando área de parches de hábitat y conectividad entre parches de hábitat (Pascual, & Saura, 2006).

El índice *IIC* es sensible a todos los tipos de cambios negativos que pueden afectar el mosaico de hábitat y es efectivo en la detección de los parches más críticos para su conservación, el *IIC* tiene un rango definido y limitado de variación (de 0 a 1), siendo este índice lo convenientemente general para ser aplicable a cualquier gráfico de paisaje. Este es capaz de evaluar la importancia de cualquier elemento para mantener la conectividad general de un paisaje o combinación de elementos del paisaje (Pascual, & Saura, 2006).

Los valores de *IIC* se pueden dividir en tres fracciones distintas considerando las diferentes maneras en que un determinado elemento del paisaje (parche o enlace) puede contribuir a la conectividad y disponibilidad del hábitat en el paisaje. Entre ellas se encuentran: (a) *dIICintra*, que es la contribución de un parche determinado en términos de conectividad *intrapatch* o el área de hábitat disponible, provisto por un parche determinado en sí mismo, en relación con el concepto de disponibilidad del hábitat; (b) *dIICflux*, que corresponde al flujo de dispersión ponderado por área a través de las conexiones de un parche determinado desde todos los otros parches en el paisaje cuando el parche analizado es el comienzo o el parche final de esa conexión o flujo; y (c) *dIICconnector*, que es la contribución de parche o enlace determinado a la conectividad entre otros parches de hábitat, como elemento de conexión o escalón entre ellos (Saura, & Rubio, 2009).

2.1.4 Conectividad ecológica en las zonas marino costeras

En los humedales costeros como en los manglares, existen factores importantes que afectan la forma, la distribución de los tipos de hábitats y la presencia de diversidad biológica, así como los patrones de conectividad. Estos presentan procesos ecológicos que los hacen difíciles de predecir (Edgar, Russ, & Babcock, 2007), ya que se encuentran conectados a ambientes tanto submareales como terrestres a través del movimiento de agua, los límites del ecosistema y del movimiento de la fauna, sirviendo no solo como fuentes de subsidios para ambientes adyacentes, sino también como sumideros en el paisaje terrestre (García, et al., 2008; Watson, et al., 2011). La conectividad entre los manglares, los ecosistemas adyacentes y las redes tróficas es una propiedad que surge de las interacciones entre el paisaje, la geomorfología, hidrología, el clima y accesibilidad a la fauna. Esta conectividad no solo contribuye al valor ecológico y económico de los manglares, sino también aumenta su vulnerabilidad a los disturbios y amenazas (Feller, et al., 2010).

El conocimiento de la conectividad de una zona costera es clave para comprender el funcionamiento de las poblaciones y comunidades marino costeras, ya que esto permite conocer los patrones de conectividad como base para la planificación territorial (Rodríguez, 2007). Debido a ello, es preciso tener en cuenta que las zonas costeras son sistemas que están conformados por un mosaico de hábitats marino costeros, donde la conectividad es vital para propiciar los procesos ecológicos resultantes de las interacciones entre los elementos bióticos y abióticos, sucediendo la conectividad por medio de individuos o nutrientes moviéndose entre hábitats, o bien genética, a través del desplazamiento de propágulos (García, et al., 2008).

De acuerdo a Pascual y Saura (2008), a nivel global, la conectividad se considera como un principio rector de la planificación para la conservación de ecosistemas, debido al hecho de que el conocer los patrones en la conectividad del paisaje puede mejorar el diseño de las áreas de conservación y garantizar la planificación para el uso de los recursos naturales. Sin embargo, los datos experimentales son escasos o inexistentes, lo que dificulta la cuantificación de la conectividad, ya que la ausencia de información sobre las métricas de conectividad conllevan a la representación inadecuada de importantes conexiones biológicas en los parches de un paisaje a la hora de planificar el territorio (Engelhard, et al., 2016).

Idealmente, un análisis de la conectividad para un mosaico de ecosistemas puede ser utilizado eficazmente en la planificación de la conservación mediante la identificación de la conectividad biológica dentro y fuera de los elementos considerados (Engelhard, et al., 2016). Ello puede incluir el estudio de atributos tales como acceso de las especies a los hábitats y recursos necesarios para completar su ciclo de vida, fragmentación de comunidades y sistemas ecológicos y la habilidad de cualquier objeto de conservación de responder a cambios ambientales mediante la dispersión, migración o recolonización.

En general, la cuantificación de la conectividad es necesaria para el manejo de los ecosistemas interconectados, ya que no solo restringe el intercambio de materia y organismos entre localidades, sino también influye en conectividad demográfica, lo cual implica el movimiento de adultos, juveniles, larvas y huevos entre poblaciones, de modo que se vuelven aportadores para las poblaciones y comunidades en términos de crecimiento, sobrevivencia y reproducción (Rodríguez, 2007).

Dentro de este gran contexto, es necesario comprender que en la conectividad marina intervienen factores oceanográficos necesarios para el funcionamiento del sistema, tal como el transporte de materia en forma de nutrientes y sedimentos que se intercambian entre diferentes zonas y estratos, todo ello favorecido por la disposición espacial y el grado de conexión entre las piezas del mosaico de hábitats costeros, dominio pelágico, dominio bentónico, columna de agua y la dinámica de la circulación marina, determinada por el comportamiento de las masas de agua, el viento, la densidad y el movimiento de la Tierra generando así las corrientes marinas (Fernández, et al., 2017). Asimismo, que las corrientes marinas, a su vez, se determinan por las distancias y pautas de conexión, es decir la discontinuidad del hábitat y la topografía del fondo marino, factores que podrían influir en la conectividad de las poblaciones (Engelhard, et al., 2016).

Por lo general, para los sistemas marinos costeros, en la mayoría de las formas de vida la dispersión está fuertemente influenciada por los patrones de circulación oceánica, principalmente en el dominio pelágico. Pero de igual manera, los hábitats neríticos y el clima local también están afectados por la circulación oceánica (Watson, et al., 2011), mediante la cual ocurre la conectividad a través de las diferentes escalas promovidas por la circulación

oceánica, regulando la abundancia y distribución de las poblaciones marinas a través de la dispersión de diferentes estadios embrionarios y que dependiendo de la escala a la que ocurre la conectividad, puede modificarse la dinámica poblacional (Rodríguez, 2007).

2.2 Estado del Arte

2.2.1 Aves del ecosistema manglar como especies indicadoras

Para desarrollar estrategias efectivas para la conservación de los recursos naturales se debe considerar y establecer prioridades sobre lugares concretos en los que se desarrollen procesos ecológicos fundamentales (Convención sobre la Diversidad Biológica [CDB], 2010). Por ello, se buscan criterios que permitan realizar de manera efectiva la selección de dichos lugares, criterios como: (1) selección de los llamados puntos calientes o *hotspots*, lugares de máxima riqueza específica, (2) selección de lugares de máxima rareza o de alto endemismo, donde aparece un alto número de especies raras, endémicas o amenazadas, y (3) selección por complementariedad de áreas con una mayor riqueza acumulada de especies (Navarrete, 2014; Ramírez, 2000).

Debido a la dificultad de estudiar todos los organismos que ocupan un área determinada, se suelen seleccionar ciertos grupos que pueden ser indicadores adecuados de la riqueza del resto de taxones y cuya protección podría garantizar, por tanto, la de muchos otros organismos (Isasi, 2011).

Frecuentemente las aves se han utilizado como indicadores debido a la cantidad de información disponible sobre su biología (taxonomía, distribución geográfica, requerimientos ecológicos, etc.) y a su relativa facilidad de estudio con respecto a otros grupos biológicos. Por ello, frecuentemente se ha considerado a las aves como un modelo adecuado para describir los patrones de distribución de grupos menos conocidos (Ramírez, 2000).

La diversidad de especies de aves de los ecosistemas de manglar se deriva directamente del espectro de hábitats creados por los árboles que conforman este ecosistema, así como de la estabilidad de los hábitats que brindan los manglares, que surge de la interacción de los factores físicos, químicos y biológicos que operan a diferentes escalas espaciales y temporales,

por lo que procesos que ocurren a escala de ecosistema y de paisaje, contribuyen a la estabilidad del hábitat (Feller, et al., 2010).

Los patrones de distribución de las especies de aves acuáticas están estrechamente ligados a la presencia de humedales, que constituyen su hábitat primordial. Los humedales son considerados ecosistemas de importancia internacional para las aves debido a la elevada diversidad biológica que mantienen (Convención Ramsar, 2014; Sebastián, Botella, & Sánchez, 2013).

Los indicadores basados en especies presentan limitaciones en su alcance y se fundamentan en los mismos supuestos, es decir, una biología bien documentada, especies fáciles de estudiar, sensibles a las perturbaciones humanas y estar ampliamente distribuida. Aquí se destaca la sensibilidad a las perturbaciones, ya que deben poder señalar qué tipo de perturbaciones y en qué escala espacial y temporal afectan a la especie. Estos tipos de indicadores se basan en el uso de conjuntos de especies del mismo gremio o grupo funcional, las especies focales, la combinación de indicadores ecológicos y el uso de las listas rojas, entre otros. Con estas características existen muchos ejemplos del uso de especies o grupos de especies indicadoras de diversidad biológica, sin embargo, para este fin destacan las aves (Isasi, 2011).

Por otra parte, de acuerdo a Nguyen (2012), las especies de aves suelen ser buenos indicadores basados en los cuatro criterios que se mencionan a continuación:

1. Permiten la evaluación de las políticas ambientales,
2. Se pueden utilizar para identificar tendencias ambientales,
3. Se pueden utilizar por tomadores de decisiones, y
4. Permiten estudiar las relaciones entre las perturbaciones antropogénicas y el ambiente.

Hay atributos de poblaciones de aves acuáticas que podrían usarse potencialmente como indicadores en hábitats marino-costeros. En general, el criterio para seleccionar un indicador es que sus respuestas pueden comunicarse fácilmente al público no científico. Las aves acuáticas, debido a su tamaño, apariencia, hábitat y comportamiento, son altamente conspicuas y estéticamente agradables. Además, existe una comprensión intuitiva de que su número y

bienestar están relacionados con la salud del ecosistema, con descensos en la diversidad y el número de aves que sugieren una disminución de la salud del ecosistema (Ogden, et al., 2014).

Las respuestas obtenidas de los estudios con aves permiten la evaluación de las políticas ambientales, se pueden utilizar para identificar tendencias ambientales, permiten estudiar las relaciones entre las perturbaciones antropogénicas y el ambiente (Canterbury, et al., 2000) y pueden ser utilizadas por tomadores de decisión.

2.2.2 Aplicación de los conceptos de la metodología de Patrimonio natural de la red *Nature Serve*

Nature Serve Network

Es una red de inventarios de diversidad biológica que tienen interoperabilidad entre los más de 80 programas locales que componen dicha red. Esta red sugiere el uso de un conjunto riguroso de estándares y protocolos de gestión de datos de diversidad biológica que se conocen colectivamente como metodología de patrimonio natural y sirven como un lenguaje común para la comunidad científica (*Nature Serve Network*, 2018).

Ocurrencia de elementos (EO)

El conocimiento de dónde viven las especies y las comunidades sobre el territorio y la viabilidad de sus poblaciones sirve para evaluar el riesgo de extinción y para planificar acciones de conservación. Dentro de la metodología de patrimonio natural el estándar de datos EO proporciona una base sobre la cual los zoólogos, botánicos y ecólogos pueden crear una guía específica de la disciplina para la topografía, la evaluación y el mapeo de ubicaciones de elementos de la diversidad biológica (*Nature Serve Network*, 2018).

El concepto de ocurrencia de elementos (EO) es una de las ideas fundamentales de la metodología de *Nature Serve*. Sin embargo, el detalle la información genética y demográfica necesaria para definir las poblaciones se limita a una cantidad relativamente pequeña de poblaciones bien estudiadas. En ausencia de esta información detallada de la población hay consideraciones operacionales que, sin cumplir los exigentes estándares de población, puede ser útil para las unidades de población. Principalmente están las consideraciones sobre la

distribución espacial y la separación geográfica entre unidades. Estas consideraciones son las que se usan para definir las ocurrencias de elementos ya que son las unidades más significativas para la gestión a través de la planificación para la conservación de un territorio, así como para describir patrones del paisaje (National Council for Air and Stream Improvement [NCASI], 2004a).

Un EO es un área de tierra y/o agua en la que un elemento está, o estaba presente. Una ocurrencia debe tener un valor de conservación práctico para el elemento como lo demuestra el potencial continuo (o histórico) de presencia y/o recurrencia regular en un lugar determinado. Para especies la ocurrencia corresponde a la población local o puede ser una porción de una población (para los que suelen dispersarse a larga distancia) o un grupo de poblaciones cercanas (una metapoblación). Para comunidades y sistemas ecológicos, la ocurrencia puede representar un parche reconocible del tipo, ya que se definen sobre la base de información ecológica y biológica, pudiendo cruzar fronteras jurisdiccionales políticas (NCASI, 2004a).

Requisitos de ocurrencia (Especificaciones de ocurrencia del elemento)

La información de ocurrencia de elementos representa la base para la planificación y gestión de la conservación. Las ocurrencias y una evaluación de su viabilidad o calidad se utilizan para orientar las prioridades de conservación y gestión. Los requisitos de ocurrencia (especificaciones EO) se utilizan para delinear y diferenciar las ocurrencias. Es decir, describen con precisión la evidencia requerida para establecer una ocurrencia válida (el tamaño mínimo, la calidad o la persistencia requerida) y las barreras, distancias y factores que separan una ocurrencia principal de otra. Las especificaciones EO también pueden incluir orientación de mapeo para las ocurrencias y también proporcionan una justificación para las distancias de separación (NCASI, 2004a).

La intención principal de las especificaciones de EO es garantizar que las OE: (a) se definan y tracen de forma coherente dentro y a través de las jurisdicciones, y (b) sean delineadas de manera que reflejen una población, comunidades de poblaciones o conjuntos de comunidades, asegurando que la viabilidad o la integridad de la ocurrencia puede ser evaluada de manera significativa. En la medida en que las OE están destinadas a reflejar las poblaciones, las

especificaciones EO describen las características que constituyen barreras que impiden totalmente o casi por completo el movimiento y/o dispersión. Las especificaciones EO también proporcionan distancias de separación. La distancia de separación se usa para establecer si dos lugares ocupados representan la misma ocurrencia o diferentes ocurrencias. En la ausencia de una barrera, se supone que las ubicaciones no están más separadas que la distancia de separación que representa la misma ocurrencia. La distancia de separación para un hábitat inadecuado (áreas que son altamente restrictivas para el movimiento o la dispersión de la especie) puede ser más pequeño que para un hábitat adecuado (NCASI, 2004a).

Para la mayoría de las especies, los datos de los estudios de flujo de genes no existen; por lo tanto, las decisiones sobre las distancias de separación son desarrolladas sobre la base de la mejor información disponible y mediante la consideración de factores relacionados con el flujo de genes (NCASI, 2004a).

Además, la consideración del flujo de genes en la definición de EO puede no ser práctico para las especies que se dispersan ampliamente (p. ej., aves, plantas o insectos dispersos por el viento), que tienen tiempos de generación muy largos (p. ej., tortugas gigantes, plantas caracterizadas por bancos de semillas a largo plazo o latencia, clones persistentes), o que dependen de fenómenos raros pero recurrentes para la dispersión (por ejemplo, inundaciones, tormentas importantes). Para éstos, las distancias de separación son necesariamente arbitrarias, pero pueden basarse en consideraciones prácticas (NCASI, 2004a).

Los comportamientos de dispersión que producen agregaciones a través de la atracción específica pueden dar como resultado una relación positiva entre el tamaño del parche y la densidad de individuos de una especie. Se ha demostrado que varias especies de vertebrados, incluidos algunos reptiles, aves y mamíferos usan la presencia y, posiblemente la cantidad, de otros animales con-específicos para indicar la idoneidad de los parches y dirigir su movimiento hacia parches (Bowman, Cappuccino, & Fahrig, 2002).

La dispersión es un proceso ecológico que implica el movimiento de un individuo o individuos múltiples lejos de la población en la que nacieron a otro lugar, o población, donde se establecerán y reproducirán. Los animales que son altamente vagos se consideran los más

eficientes en la dispersión activa. Los animales altamente vagos incluyen muchas especies de aves, murciélagos e insectos grandes. Otros animales que no pueden volar también se consideran muy vagos. Los animales acuáticos grandes son dispersores efectivos y algunos animales terrestres pueden dispersarse a grandes distancias a pie. Como resultado, los organismos altamente vágiles tienen la mayor capacidad para la dispersión a larga distancia. A pesar de la capacidad específica de una especie para diseminarse, el alcance de la dispersión está vinculado a las restricciones impuestas por el hábitat (Croteau, 2010).

Requisitos espaciales para la fauna

Las especies de fauna presentan diferentes capacidades para la dispersión a través del territorio (Pascual, & Saura, 2008). La dispersión o la capacidad dispersiva de las especies es un proceso clave basado en el individuo, que influye en muchos atributos de la historia de vida y estado poblacional (por ejemplo, en la conectividad de una metapoblación) (Jordano, 2017).

La capacidad dispersiva de la fauna se puede utilizar como elemento de análisis cuando se estudia la conectividad ecológica de un territorio desde un enfoque espacial (Merken, Deboelpaep, Teunen, Saura, & Koedam, 2015).

Una variedad de especies de fauna, en especial los vertebrados terrestres, tienen requisitos espaciales que definen un área mínima para obtener suficiente alimento, refugio y hábitat reproductivo. Para determinar dicha área mínima se han llevado a cabo investigaciones para caracterizar los patrones de movimiento de algunas especies de fauna. Los resultados indican que los requisitos espaciales (o el tamaño del hogar) para un individuo de una especie en particular pueden variar temporal y espacialmente dependiendo de una serie de factores, incluida la disponibilidad de recursos, temporada y sexo del individuo. A pesar de esta variabilidad, es posible caracterizar el rango de hogar promedio para muchas especies y, cuando están disponibles, estos promedios están incluidos en resúmenes de caracterización de *Nature Serve* para tales especies (NCASI, 2004b).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Identificar los sitios prioritarios para la conectividad del ecosistema manglar en el humedal costero Las Lisas-La Barrona a través de las aves.

3.2 Objetivos específicos

- Estimar la conectividad estructural y funcional del ecosistema manglar.
- Caracterizar las amenazas para las aves y la conectividad del ecosistema manglar.
- Priorizar áreas de importancia para las aves con base en la conectividad y sus amenazas.

4. Materiales y métodos

4.1 Diseño metodológico

Obtención de datos

- Datos de especies de aves presentes en el área y estatus de conservación: Se realizó la búsqueda de registros sobre especies de aves reportadas para el área de estudio, se revisaron los estatus de conservación y se definieron grupos funcionales de aves a partir del listado recopilado de acuerdo a Dávila et al. (2014).
- Datos sobre distancias de dispersión: A los grupos funcionales de aves se asignaron los valores de 5 km y 10 km como valores de distancias de dispersión por grupo funcional, de acuerdo a NCASI (2004), cuyos valores se describen dentro de las especificaciones de ocurrencia del elemento para los grupos de aves. Dichos datos fueron útiles para el análisis de conectividad funcional.
- Datos sobre el tipo de cobertura y uso del suelo: Se obtuvo la imagen de satélite *Sentinel* (ESA, 2017) a partir de la cual se realizó la selección de tipos de cobertura y usos del suelo del área, procedimiento realizado con el software *ArcMap* versión 10 (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016). A partir de esta interpretación se obtuvo la referencia sobre la cobertura de ecosistema manglar.
- Mapeo de estresores y fuentes de presión para el ecosistema manglar: A partir de la información del tipo de cobertura y uso del suelo, se clasificaron y describieron los estresores y fuentes de presión que inducen amenazas hacia la conectividad del manglar (Salafsky, et al., 2008).

Análisis de datos

- Análisis de conectividad estructural: A partir de la información sobre el tipo de cobertura y uso del suelo del área se aplicó el análisis de conectividad estructural estimando el Patrón Espacial Morfológico (MSPA, por sus siglas en inglés) (Soille, & Vogt, 2008) utilizando el software libre *Guidos Toolbox 2.7* (Vogt, & Riitters, 2017). Con el MSPA se clasificó a los parches de manglar por su morfología en: (a) núcleo: área interior excluyendo el perímetro, (b) borde: perímetro externo del objeto, (c) puente: conectado a diferentes áreas del núcleo, (d) isla: islote disjunto y demasiado

pequeño para contener núcleo, (e) perforación: perímetro interno del objeto, (f) lazo: conectado a la misma área del núcleo, (g) rama: conectando los núcleos con parches adyacentes (European Commission, 2018).

- Análisis de conectividad funcional potencial: Este análisis se aplicó a los datos sobre cobertura del ecosistema manglar y datos de dispersión de las especies de aves de 5 y 10 kilómetros (km), con lo cual se estimó el Diferencial Índice Integral de Conectividad (*dIIC*) con el software libre *Conefor Sensinode* (Saura, & Torné, 2012). El *dIIC* demuestra el aporte de cada parche de manglar a la conectividad del sistema, a partir de sus tres fracciones (*intra*, *flux* y *connector*), que son las distintas maneras en que un parche puede contribuir a la conectividad del sistema: (a) *intra*, es la contribución de un parche a la conectividad *intrapatch* o el área de hábitat disponible provisto por un parche determinado en sí mismo; (b) *flux*, es el flujo de dispersión ponderado por área a través de las conexiones de un parche determinado desde todos los otros parches en el paisaje; y (c) *connector*, es la contribución de cada parche a la conectividad entre otros parches de hábitat, como escalón o conexión (Saura, & Rubio, 2009).
- Análisis de circuitos: Para evaluar la conectividad entre los parches de manglar y los valores de resistencia de los estresores y fuentes de presión, se realizó un análisis de circuitos o flujos de corriente, con el uso del software libre *Circuit Scape* 4.0 (McRae, Shas, & Mohapatra, 2013). El programa calculó las resistencias entre todos los pares de parches evaluados, generando como resultado el mapa de circuitos o corriente acumulada. A partir del mapeo y clasificación de estresores y fuentes de presión que provocan las amenazas a la conectividad del manglar (Salafsky, et al., 2008), se generó un mapa de resistencia del paisaje al movimiento de las aves, el cual muestra y es interpretado como el valor de las amenazas para la conectividad en el área.

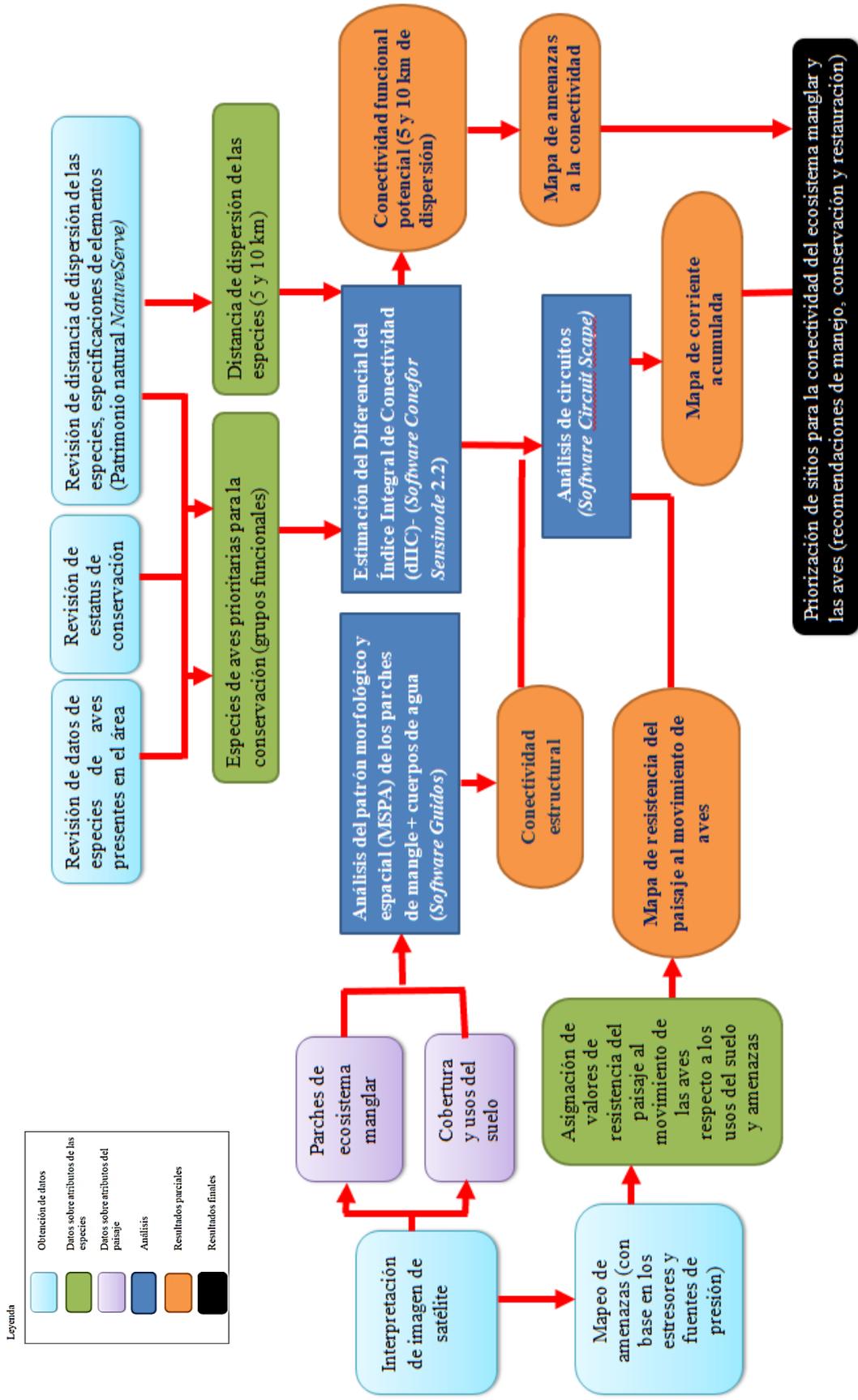


Figura 1. Esquema del diseño metodológico

4.2 Descripción detallada de la ubicación geográfica de la investigación

El área de estudio es el humedal costero Las Lisas-La Barrona, el cual se encuentra localizado en la cuenca baja del río Paz y río Los Esclavos en el litoral del Pacífico de Guatemala. Abarca el frente de mar de tres municipios costeros, Chiquimulilla, del departamento de Santa Rosa, y Pasaco y Moyuta del departamento de Jutiapa.

Este humedal de tipo estuarino posee diversos elementos de la diversidad biológica, entre ellos están los manglares, playas, dunas y las bocabarras de El Chapetón, El Jiote y La Gabina (Boix, et al., 2011). El área presenta elevaciones de cero a 300 metros sobre el nivel del mar (msnm), presentando climas de género cálido sin estación fría bien definida, con carácter húmedo e invierno seco, variando a semi-seco (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [Insivumeh], 2017).

Respecto al ecosistema manglar presente en el área de estudio, este sistema se ha identificado como uno de las tres Ocurrencia de Elemento (OE) para la costa de este del Pacífico que fueron identificados por Dávila y colaboradores (2014) utilizando la metodología de *Nature Serve* (NCASI, 2004a).

Godoy (1980) estudió la estructura y composición de este manglar y registró la presencia de *Rhizophora mangle* L. (1753) (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (mangle blanco), *Avicennia germinans* (L.) L. (mangle negro), y *Conocarpus erectus* L. (botoncillo). La especie más abundante es *Rhizophora mangle* L. (1753) seguida por *Avicennia germinans* (L.) L., y *Conocarpus erectus* L. pudiendo este último encontrarse en peligro de extinción debido a la sobreexplotación para madera y leña (Gómez, 1980). Para el área se observa una discontinuidad en la cobertura de manglar, desde muy escaso en algunos lugares y muy abundante en otros. Esto se debe al tipo de suelos, su topografía, el flujo mareal y la degradación de los suelos. En la región cercana a El Chapetón se observan principalmente grandes remanentes de mangle negro y mangle rojo en la rivera de los estuarios. Por otro lado, se puede observar que de la comunidad de El Chapetón hacia la comunidad de El Ahumado y luego a la comunidad de Las Lisas, el establecimiento de salineras ha deteriorado el

ecosistema manglar como producto de la interrupción del flujo laminar del agua salobre sobre los sistemas de manglar (García, et al., 2000).

En lo que respecta a la estimación del tamaño poblacional de aves acuáticas para este humedal, Salazar & Sigüenza (2010) encontraron que las especies más abundante son *Ardea alba* (del Hoyo, & Collar, 2014) (garza blanca), seguida por *Butorides virescens* (Linnaeus, 1758) (garza verde), *Egretta thula* (Molina, 1782) (garza dedos de oro) y *Endocimus albus* (Linnaeus, 1758) (ibis blanco). Se considera que el humedal representa un importante hábitat para la reproducción de aves zancudas, donde se ha registrado dos colonias de anidamiento de aves coloniales, por lo que es un humedal prioritario por la importancia como hábitat de aves acuáticas (Dávila, et al., 2014; López, 2011; Salazar, & Sigüenza, 2010). Para el estudio se consideraron las 3,606.54 ha de zona estuarina del humedal (Figura 2, Tabla 1).

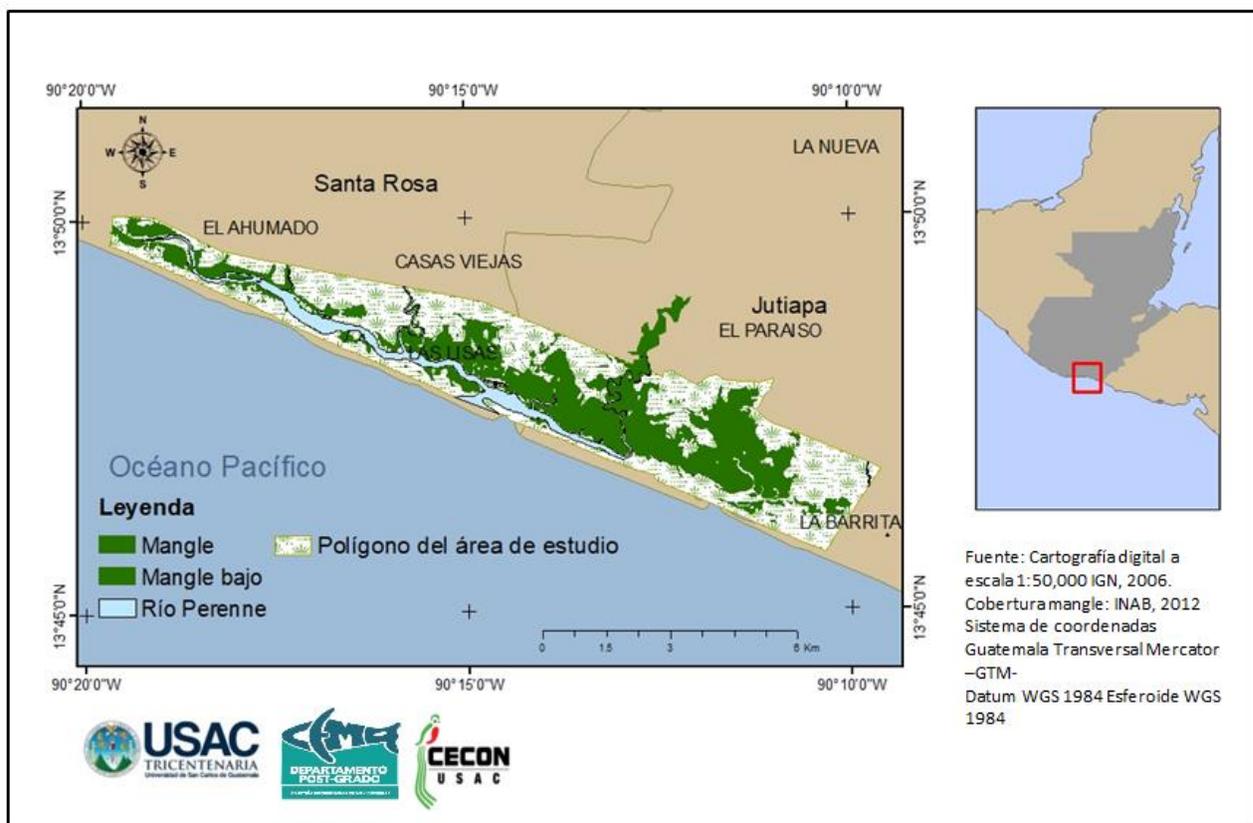


Figura 2. Mapa del área de estudio, humedal marino costero Las Lisas - La Barrona, Departamento de Santa Rosa y Jutiapa

Tabla 1

Coordenadas geográficas del área de estudio

Longitud (X)	Latitud (Y)
788635.4689	1530421.39
788865.0561	1531052.755
789926.897	1531024.057
791534.0075	1530220.501
797675.4657	1529043.867
784101.1212	1527895.931

Fuente: Basado en CONAP & PNUD, 2017.

4.3 Tipo de investigación

- Enfoque: mixto
- Alcance: descriptivo
- Tipo: no experimental

4.4 Técnicas e instrumentos

Recolección y análisis de datos

Estimar la conectividad estructural y funcional del ecosistema manglar

Para esta investigación el enfoque fue descriptivo, utilizando la forma, disposición y tamaño de los parches de la vegetación de los ecosistemas de manglar, los tipos de parches y el espejo de agua de los estuarios en términos espaciales, no abarcándose factores físicos o químicos.

Para los fines de esta investigación, se utilizaron como indicadores para evaluar la conectividad del ecosistema manglar las especies de aves acuáticas. Esto se fundamenta en las siguientes ventajas de su uso como indicadores:

- una biología bien documentada,
- son especies fáciles de estudiar,
- son especies sensibles a las perturbaciones humanas,
- están ampliamente distribuida (Isasi, 2011),
- por su tamaño,
- por sus tipos de hábitat,

- por su comportamiento,
- son altamente conspicuas y estéticamente agradables (Ogden, et al., 2014)

- *Datos sobre registros de las especies de aves presentes en el humedal*

Se emplearon las aves como especies focales, para lo cual, mediante revisión bibliográfica se generó un listado de especies de aves para el área de estudio (CONAP, & PNUD, 2017; Dávila, García, & López, 2014; Eisermann, & Avendaño, 2007; Salazar, & Sigüenza, 2010). Las especies se priorizaron con base a su estatus residente y su estado de conservación de acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2018), posteriormente se agruparon con base en los grupos funcionales de aves de acuerdo a Dávila et al. (2014). Con base a ello se conformaron 20 grupos funcionales de aves acuáticas.

- *Grupos funcionales de aves acuáticas y datos de distancias de dispersión o de movimiento*

Utilizando el enfoque de la capacidad dispersiva de las especies (Merken, Deboelpaep, Teunen, Saura, & Koedam, 2015). Para este estudio se consideró, de acuerdo a *Nature Serve*, que la distancia que un ave recorre entre parches de hábitats es la distancia de dispersión, se utilizaron como referencia los valores de la dispersión por grupo, de acuerdo las especificaciones de ocurrencia del elemento de *Nature Serve* (NCASI, 2004). Por lo que a los 20 grupos funcionales se les asignaron los valores de 5 km y 10 km como valores de distancias de dispersión por grupo funcional, de acuerdo a NCASI (2004), cuyos valores se describen dentro de las especificaciones de ocurrencia del elemento para los grupos de aves.

- *Delimitación del área de ecosistema manglar*

Utilizando el programa *ArcMap* versión 10 (ESRI, 2016), se generó el mapa de cobertura del suelo y delimitación del ecosistema manglar. Se aplicaron técnicas y criterios de interpretación de imágenes sobre la imagen del satélite Sentinel 2, obtenida de manera gratuita desde el servidor *Sentinel Scientific Data Hub* de la Agencia Espacial Europea (ESA) (02/02/2017). El satélite evalúa con resoluciones de hasta 10m la vegetación y el cambio de la cobertura de la tierra, así como monitorea el estado mundial de los bosques (ESA, 2017). Posteriormente, se realizó la validación y corroboración de campo mediante dos visitas al área durante los meses

de septiembre (20-21) y noviembre (21-25) del año 2016, y finalmente se obtuvo el mapa actualizado de cobertura y usos del suelo para el año 2018 del área de estudio.

- *Análisis de conectividad*

Se realizó un análisis de conectividad utilizando los programas informáticos de libre acceso *Guidos Toolbox2.7* (Vogt, & Riitters, 2017) y *Conefor Sensinode 2.2* (Pascual, & Saura, 2008). El manejo de las capas de información se realizó utilizando el programa *ArcMap* versión 10 (ESRI, 2016) a partir de los archivos de entrada. En este caso el mapa de la cobertura de manglar y cuerpos de agua estuarinos provino de la digitalización de la imagen Sentinel 2 (ESA, 2017).

Se desarrolló un análisis de conectividad estructural para el ecosistema manglar a través del Análisis del Patrón Morfológico Espacial (MSPA, por sus siglas en inglés) utilizando el software libre *GuidosToolbox2.7* (Vogt, & Riitters, 2017). Este análisis se realizó en el marco de las teorías de grafos espaciales para identificar los sitios del paisaje costero de mayor relevancia para mantener la conectividad (Vogt, 2013). De acuerdo a la forma y disposición espacial se determinó cuáles parches están dispuestos como núcleo, borde, puente, isla, perforación y lazo en la matriz de ecosistema manglar. De acuerdo a la *European Comission* (2018), los tipos de parches se describen como:

- Núcleo: área interior excluyendo el perímetro.
- Borde: perímetro externo del objeto.
- Puente: conectado a diferentes áreas del núcleo.
- Isla: islote disjunto y demasiado pequeño para contener núcleo.
- Perforación: perímetro interno del objeto.
- Lazo: conectado a la misma área del núcleo.
- Rama: conectando los núcleos con otros parches adyacentes.

Para el análisis de conectividad funcional potencial se realizó la estimación en sus tres fracciones: (a) conectividad interna (*dIIC intra*), (b) conectividad flujo (*dIIC flux*), y (c) conectividad como conector o *stepping Stone* (*dIIC connector*). Se estimó el diferencial del Índice Integral de Conectividad (*dIIC*), que permitió conocer el aporte de cada parche en la conectividad de todo el sistema. Se utilizó el software libre *Conefor Sensinode* versión 2.2

(Pascual, & Saura, 2008). Este análisis se aplicó para especies de aves acuáticas que se dispersan 5m y 10m entre parches de hábitat de acuerdo a las especificaciones de elemento de la metodología *Nature Serve* para los grupos funcionales (NCASI, 2004b).

Caracterizar las amenazas para las aves y la conectividad del ecosistema manglar

- *Identificación y clasificación de amenazas*

A partir del mapa de uso del suelo se asumieron las amenazas con base en los usos y se catalogaron de acuerdo a las clasificaciones estandarizadas de amenazas y acciones de Salafsky y colaboradores (2008), quienes plantean un léxico estándar para la conservación de la biodiversidad a través de una clasificación unificada de amenazas y acciones.

- *Interpretación de la resistencia (valor de las amenazas para la conectividad en el área o valor de resistencia)*

Durante esta fase se construyó un mapa de resistencia a partir del mapa del uso del suelo, utilizando el software *ArcMap* versión 10 (ESRI, 2016). Este mapa de resistencia consiste en la interpretación de la fricción asociada a las limitaciones que la matriz del paisaje presenta para el desplazamiento de organismos (Colorado, Vásquez, Mazo, 2017), en este caso las especies de aves, que utilizan el ecosistema manglar como hábitat dentro de la matriz del paisaje del área de estudio (Figura 15). Este análisis incluye la valoración de cinco variables, en donde al tipo de cobertura y uso del suelo se le asignó un valor de resistencia o fricción, bajo el entendido de que la resistencia del paisaje es una medida de cuán fácil un organismo puede migrar o dispersarse a través de un territorio, basado en las características de los elementos del paisaje (Rose, 2013). Para asignarle valores cuantitativos se consideró a la resistencia al movimiento con una distribución exponencial, en tal sentido se asignaron valores de resistencia basados en Bartesaghi (2015) y modificados de Colorado, Vásquez, y Mazo (2017). Para las zonas de hábitat óptimo para las especies se les asignó un valor = 1 y valores crecientes para el resto de usos del suelo asignándole no dato para barreras absolutas, dando como resultado los siguientes criterios:

- 1:** A los ambientes de mayor intensidad de uso (manglares, cuerpos de agua).

- 4:** A los ambientes con intensidad de uso frecuente (arena, playa, estanques de acuicultura, salineras).
- 11:** A los ambientes de uso ocasional (campos de agricultura o ganadería).
- 100:** A las barreras absolutas de movimiento (áreas urbanas, áreas con infraestructura).

Priorizar áreas de importancia para las aves con base en la conectividad y sus amenazas

La priorización de áreas de importancia para las aves se realizó mediante la evaluación de los diferentes mapas generados, entre ellos:

- Mapa de conectividad estructural o patrón morfológico espacial del ecosistema manglar (Figura 5),
- Mapa de resistencia, datos de resistencia al movimiento de las especies (Figura 14),
- Mapa de amenazas y conectividad, generado con la información de la conectividad (*dIIC*) y las amenazas presentes en el área de estudio (Figura 15).

- *Análisis de circuitos*

Para efectuar la evaluación de la conectividad entre los núcleos identificados a través de las distintas coberturas de la matriz del paisaje se realizó un análisis de circuitos o flujos (Bartesaghi, 2015), para lo cual se utilizó el software libre *Circuit Scape* 4.0, (McRae, Shas & Mohapatra, 2013), con los datos del mapa de patrón morfológico (Figura 5) y mapa de resistencia (Figura 14). El programa calculó las resistencias entre pares de parches, produciendo como resultado el mapa de circuitos o corriente acumulada entre todos los pares de parches evaluados, el cual muestra cómo la corriente se acumula en los posibles vínculos eléctricos de los núcleos o sitios con conectividad prioritaria.

Este análisis tuvo en cuenta el comportamiento de la conectividad de los parches evaluados (en este caso de manglar) a través de develar la concentración esperada de flujos y resistencia efectiva entre parches de hábitat.

Con base en los resultados se desarrollaron criterios y recomendaciones para el manejo del área, considerando las prioridades de restauración o conservación de la conectividad.

Instrumentos

- ✓ Imágenes de Satélite (*Sentinel 2*).
- ✓ Mapas del área con las retículas visibles.
- ✓ Cámara fotográfica (*Nikon*).
- ✓ Software con licencia: Sistemas de Información Geográfica, *ArcMap* versión 10 licencia de ArcMap Desktop del Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas (Cecon), USAC.
- ✓ Software libres: *Conefor Sensinode*, *Guidos Toolbox 2.7*, *Circuit Scape 4.0*
- ✓ Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (*Garmin*).
- ✓ Computadora Portatil (*Toshiba Satellite*).
- ✓ Impresora (*Canon 1800*).

4.5 Muestreo y selección de la muestra

- *Diseño del muestreo*

Universo: El humedal Las Lisas-La Barrona (zona estuarina).

Población: Cobertura de manglar.

Muestra: Parches de manglar y agua a escala 1:50,000

Muestreo: No probabilístico.

Datos a documentar:

- Área y disposición espacial de la cobertura de manglar y espejo de agua de naturaleza estuarina.
- Datos de uso del suelo.
- Reportes de especies de aves acuáticas para el área de estudio.
- Datos de la presencia de amenazas.

4.6 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

- Variable dependiente: Diferencial del índice de conectividad de los parches de ecosistema manglar.
- Variables independientes: tamaño de parche, distancia de dispersión de aves.

5. Resultados

5.1 Estimar la conectividad estructural y funcional del ecosistema manglar

- *Datos sobre registros de las especies de aves de humedal y datos de distancias de dispersión*

Los estudios sobre diversidad de aves realizados para el humedal Las Lisas-La Barrona reportan 153 especies correspondientes a 43 familias (Anexo 1), las cuales utilizan el ecosistema manglar como hábitat para la alimentación, anidamiento, refugio y percha (Salazar, & Sigüenza, 2009). De las 153 especies se seleccionaron 96 especies prioritarias para la conservación, utilizando como criterio para su priorización el hecho de que son especies nativas, algunas de ellas se encuentran en peligro de extinción y que en general tienen poblaciones decrecientes (International Union for Conservation of Nature [IUCN], 2018). A partir de estas 96 especies se conformaron 20 grupos funcionales de aves de acuerdo a las especificaciones de elemento de la metodología de *Nature Serve* (NCASI, 2004a), (Tabla 2 y Tabla 3, Anexo 2).

Tabla 2

Grupos funcionales de aves del humedal Las Lisas-La Barrona

No.	Nombre del grupo	Familia	Especie	Nombre común	*Estatus Lista Roja de UICN	Ocurrencia a nivel nacional	Tendencia poblacional actual
1	Patos	Anatidae	<i>Spatula discors</i>	Barraquete aliazul	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Cairina moschata</i>	Pato criollo	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Pijije común	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Dendrocygna bicolor</i>	Pijije canelo	LC	Nativo	Decreciente
2	Zambullidores	Podicipedidae	<i>Podilymbus podiceps</i>	Zambullidor pico grueso	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Tachybaptus dominicus</i>	Zambullidor pequeño	LC	Nativo	Decreciente
		Heliornithidae	<i>Heliornis fulica</i>	Zambullidor	LC	Nativo	Decreciente
3	Cormoranes	Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Pato coche	LC	Nativo	Decreciente
4	Aves zancudas	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	Garza blanca grande	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Ardea herodias</i>	Garza azulada	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Egretta caerulea</i>	Garceta azul	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Egretta thula</i>	Garceta nívea	LC	Nativo	Decreciente

No.	Nombre del grupo	Familia	Especie	Nombre común	*Estatus Lista Roja de UICN	Ocurrencia a nivel nacional	Tendencia poblacional actual
			<i>Egretta rufescens</i>	Garceta rojiza	NT	Nativo	Decreciente
			<i>Egretta tricolor</i>	Garceta tricolor	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Ixobrychus exilis</i>	Garcita de mangle	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Cochlearius cochlearius</i>	Pato cuchara	LC	Nativo	Decreciente
		Ardeidae	<i>Nyctanassa violacea</i>	Martinete coronado	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Nycticorax nycticorax</i>	Martinete común	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Garza tigre mexicana	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Eudocimus albus</i>	Corocoro blanco	LC	Nativo	Decreciente
		Threskiornithidae	<i>Platalea ajaja</i>	Espátula rosada	LC	Nativo	Decreciente
		Burhinidae	<i>Burhinus bistriatus</i>	Alcavarán, peterete	LC	Nativo	Decreciente
5	Aura sabanera	Cathartidae	<i>Cathartes burrovianus</i>	Aura sabanera	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Buteogallus anthracinus</i>	Gavilán negro	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Pandion haliaetus</i>	Águila pescadora	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Busarellus nigricollis</i>	Gavilán pescador	LC	Nativo	Decreciente
		Accipitridae	<i>Buteo brachyurus</i>	Gavilán cola corta	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Ictinia plumbea</i>	Elanio plumizo	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Leptodon cayanensis</i>	Gavilán palomero	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Rostrhamus sociabilis</i>	Elanio caracolero	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Caracara cheriway</i>	Caracara	LC	Nativo	Decreciente
		Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo americano	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Herpetotheres cachinnans</i>	Halcón huaco	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Micrastur semitorquatus</i>	Halcón collarejo	LC	Nativo	Decreciente
7	Galleretas	Rallidae	<i>Fulica americana</i>	Gallereta americana	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Charadrius alexandrinus</i>	Playero blanco	LC	Migratorio	Decreciente
			<i>Charadrius vociferus</i>	Chorlitejo culirrojo	LC	Nativo	Decreciente
8	Playeros	Charadriidae	<i>Charadrius wilsonia</i>	Chorlitejo piquigruoso	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Pluvialis</i>	Chorlito	LC	Nativo	Decreciente

No.	Nombre del grupo	Familia	Especie	Nombre común	*Estatus Lista Roja de UICN	Ocurrencia a nivel nacional	Tendencia poblacional actual		
			<i>dominica</i>	dorado					
			<i>Pluvialis squatarola</i>	Chorlito gris	LC	Nativo	Decreciente		
			<i>Larus heermanni</i>	Gaviota mexicana	NT	Vagabundo	Desconocida		
			<i>Thalasseus elegans</i>	Charrán elegante	NT	Presente - origen incierto	Estable		
			<i>Anous stolidus</i>	Tiñosa	LC	Nativo	Estable		
			<i>Chlidonias niger</i>	Fumarel común	LC	Nativo	Decreciente		
			<i>Hydroprogne caspia</i>	Pagaza piquirroja	LC	Nativo	Creciente		
			<i>Larus argentatus</i>		LC	Migratoria	Decreciente		
			<i>Larus atricilla</i>	Gaviota reidora	LC	Nativo	Creciente		
			<i>Larus delawarensis</i>	Gaviota de Delaware	LC	Nativo	Creciente		
9	Gaviotas Jacana Loros	Laridae	<i>Leucophaeus pipixcan</i>		LC	Nativo	Creciente		
			<i>Rynchops niger</i>	Rayador americano	LC	Nativo	Decreciente		
			<i>Sterna forsteri</i>	Charrán de Foster	LC	Nativo	Creciente		
			<i>Sterna hirundo</i>	Tirra medio cuchillo	LC	Nativo	Desconocido		
			<i>Sternula antillarum</i>	Gaviota chica	LC	Nativo	Decreciente		
			<i>Thalasseus maximus</i>	Tirra canalera	LC	Nativo	Estable		
			<i>Thalasseus nilotica</i>	Gaviota pico gordo					
			<i>Thalasseus sandvicensis</i>	Gaviota patinegra	LC	Nativo	Estable		
10				Jacanidae	<i>Jacana spinosa</i>	Gallito de agua	LC	Nativo	Desconocido
					<i>Amazona albifrons</i>	Loro frentialba	LC	Nativo	Creciente
11				Psittacidae	<i>Amazona autumnalis</i>	Loro de cara amarilla	LC	Nativo	Decreciente
					<i>Eupsittula canicularis</i>	Perica frente naranja	LC	Nativo	Estable
12			Pericas	Psittacidae	<i>Aratinga holochlora</i>	Chocoyo, perica verde	LC	Nativo	Estable
					<i>Brotogeris jugularis</i>	Catita churica	LC	Nativo	Estable
			<i>Coccyzus americanus</i>	Cuclillo de pico amarillo	LC	Nativo	Decreciente		
13	Cucús	Cuculidae	<i>Coccyzus erythrophthalmus</i>	Cuclillo piquinegro	LC	Nativo	Decreciente		
			<i>Coccyzus minor</i>	Cuclillo de	LC	Nativo	Estable		

No.	Nombre del grupo	Familia	Especie	Nombre común	*Estatus Lista Roja de UICN	Ocurrencia a nivel nacional	Tendencia poblacional actual
				manglar			
			<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Pijuy	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Piaya cayana</i>	Piscoy, cucú ardilla	LC	Nativo	Estable
		Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	Lechuza común	LC	Nativo	Estable
			<i>Athene cunicularia</i>	lechuza, guía de león,	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Ciccaba nigrolineata</i>	Lechuza, cárabo	LC	Nativo	Estable
			<i>Ciccaba virgata</i>	Lechuza café	LC	Nativo	Decreciente
14	Búhos grandes y medianos	Strigidae	<i>Lophostrix cristata</i>	Búho corniblanco	LC	Nativo	Estable
			<i>Megascops trichopsis</i>	Autillo bigotudo	LC	Nativo	Incrementando
			<i>Asio clamator</i>	Búho gritón	LC	Nativo	Estable
			<i>Pulsatrix perspicillata</i>	Oropopo, búho de anteojos	LC	Nativo	Estable
15	Búhos pequeños	Strigidae	<i>Glaucidium brasilianum</i>	Aurorita, mochuelo caburé	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Chaetura vauxi</i>	Vencejo de Vaux	LC	Nativo	Incrementando
			<i>Chaetura pelagica</i>	Vencejo de chimenea	NT	Nativo	Decreciente
16	Vencejos	Apodidae	<i>Cypseloides niger</i>	Vencejo negro	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Panyptila cayennensis</i>	Vencejo tijereta chico	LC	Nativo	Estable
			<i>Panyptila sanctihieronymi</i>	Vencejo tijereta grande	LC	Nativo	Estable
			<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejo acollarado	LC	Nativo	Estable
			<i>Amazilia candida</i>	Amazilia cándida	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Amazilia cyanocephala</i>	Amazilia coroniazul	LC	Nativo	Desconocido
			<i>Amazilia cyanura</i>	Amazilia coliazul	LC	Nativo	Desconocido
			<i>Amazilia rutila</i>	Amazilia canela	LC	Nativo	Desconocido
17	Colibríes	Trochilidae	<i>Amazilia tzacatl</i>	Amazilia de cara rufa	LC	Nativo	Desconocido
			<i>Anthracothorax prevostii</i>	Colibrí gorjinegro	LC	Nativo	Desconocido
			<i>Campylopterus hemileucurus</i>	Colibrí morado	LC	Nativo	Desconocido
			<i>Chlorostilbon canivetii</i>	Esmeralda de Cavinet	LC	Nativo	Desconocido
			<i>Helioaster longirostris</i>	Colibrí piquilargo	LC	Nativo	Decreciente

No.	Nombre del grupo	Familia	Especie	Nombre común	*Estatus Lista Roja de UICN	Ocurrencia a nivel nacional	Tendencia poblacional actual
			<i>Hylocharis eliciae</i>	Zafiro de Elicia	LC	Nativo	Incrementando
18	Martines	Alcedinidae	<i>Chloroceryle aenea</i>	Mosquero pigmeo	LC	Nativo	Decreciente
			<i>Megaceryle alcyon</i>		LC	Nativo	Estable
19	Vireo de Bell	Vireonidae	<i>Vireo bellii</i>	Vireo de Bell	NT	Nativo	Decreciente
20	Chipe de manglar	Parulidae	<i>Setophaga petechia</i>	Chipe de manglar	LC	Nativo	Estable

Fuente: Basado en Dávila, García & López (2014). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. <www.iucnredlist.org>. Categorías UICN: Least Concern (LC) - Menor preocupación, Near Threatened (NT) - Casi amenazado.

Tabla 3

Valor de la distancia de dispersión por grupo de acuerdo a las especificaciones de grupos funcionales de aves (Nature Serve).

Nombre del grupo	Distancia de dispersión (km)		Clases de uso local
	Hábitat no apropiado	Hábitat apropiado	
Patos	10	10	Reproductivo
	10	10	Sitio utilizado en migración
	10	10	No reproductivo
Zambullidores	5	10	Reproductivo
	5	10	No reproductivo
Cormoranes	5	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Aves zancudas	5	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Gavilanes de humedal (<i>Buteogallus</i>)	10	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Gavilanes y halcones	10	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Galleretas	5	10	Reproductivo
	5	10	No reproductivo
Playeros	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
	5	5	Sitios de migración
Gaviotas (Laridae)	5	5	Reproductivo
	5	5	Sitios de migración
	5	5	No reproductivo

Nombre del grupo	Distancia de dispersión (km)		Clases de uso local
Jacana y aliados	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
Loros (<i>Amazona</i>)	10	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Pericas (<i>Aratinga</i> y <i>Brotogeris</i>)	10	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Cucús	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
Búhos grandes y medianos	10	10	Reproductivo
	10	10	No reproductivo
Búhos pequeños	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
Vencejos (<i>Apodidae</i>)	5	5	Reproductivo
	10	10	Sitios de migración
	10	10	Sitios de paso para la migración
Colibríes (<i>Trochilidae</i>)	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
Martines	10	10	Reproductivo
Vireo de Bell	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
	5	5	Sitios de migración
Chipes de manglar	5	5	Reproductivo
	5	5	No reproductivo
	5	5	Sitios de migración

- *Cobertura y usos del suelo y delimitación del ecosistema manglar*

A partir del mapa actualizado de coberturas y usos del suelo de Las Lisas-La Barrona para el año 2018, se identificaron nueve tipos de cobertura y uso del suelo (Tabla 4, Figura 3, Anexo 3). Como base para los análisis de conectividad se cuantificó el área ocupada por el ecosistema manglar, existiendo un total de 1,796.78 ha de ecosistema de manglar, que incluye 1,405.89 ha de cobertura forestal de manglar y 390.88 ha de cuerpos de agua de tipo estuarino (Figura 4).

Tabla 4

Áreas de cobertura y usos del suelo para el año 2018 del área de estudio.

No.	Clase de uso	Área (ha)
1	Manglar	1,405.89
2	Agricultura	1,022.70
3	Cuerpo de agua estuarino	390.88
4	Evaporador de sal -salina-	222.79
5	Arena (playa)	182.39
6	Acuicultura	174.14
7	Área urbana	127.96
8	Huerto	65.20
9	Matorral	14.58
	Total	3,606.54

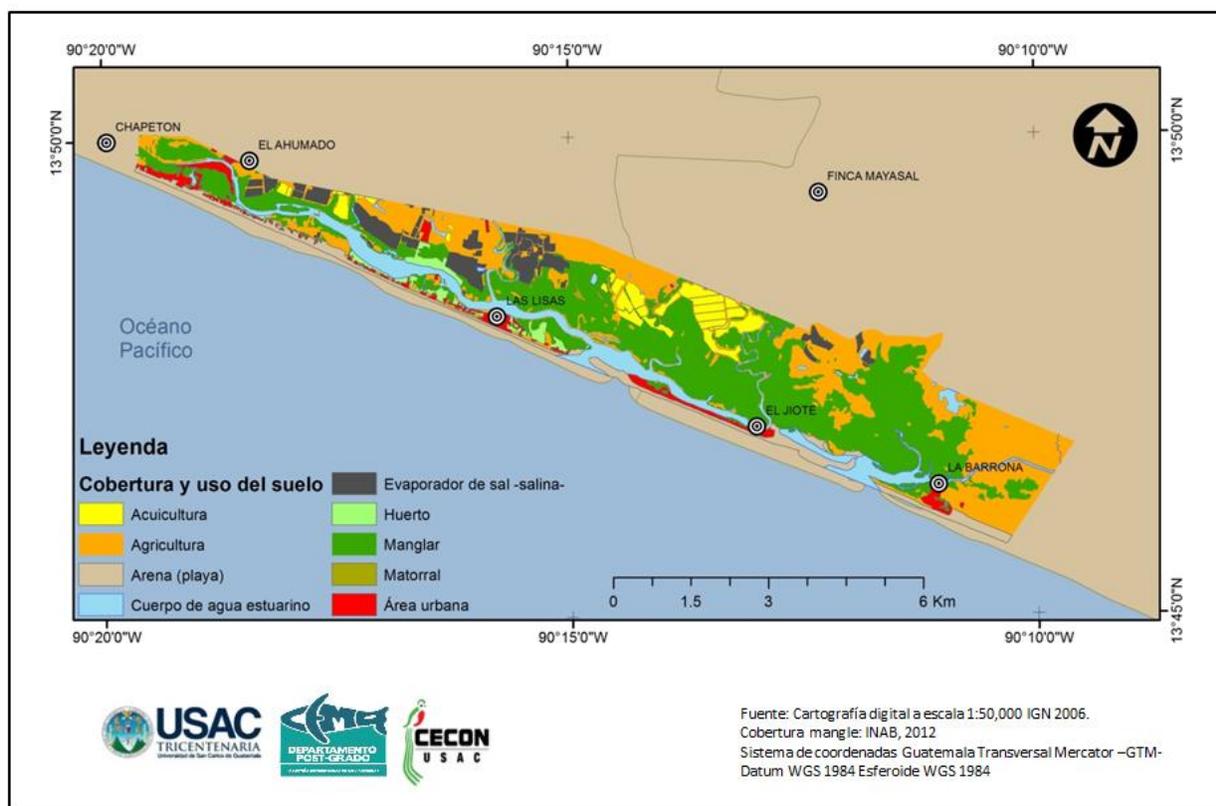


Figura 3. Mapa sobre el uso del suelo del humedal Las Lisas-La Barrona

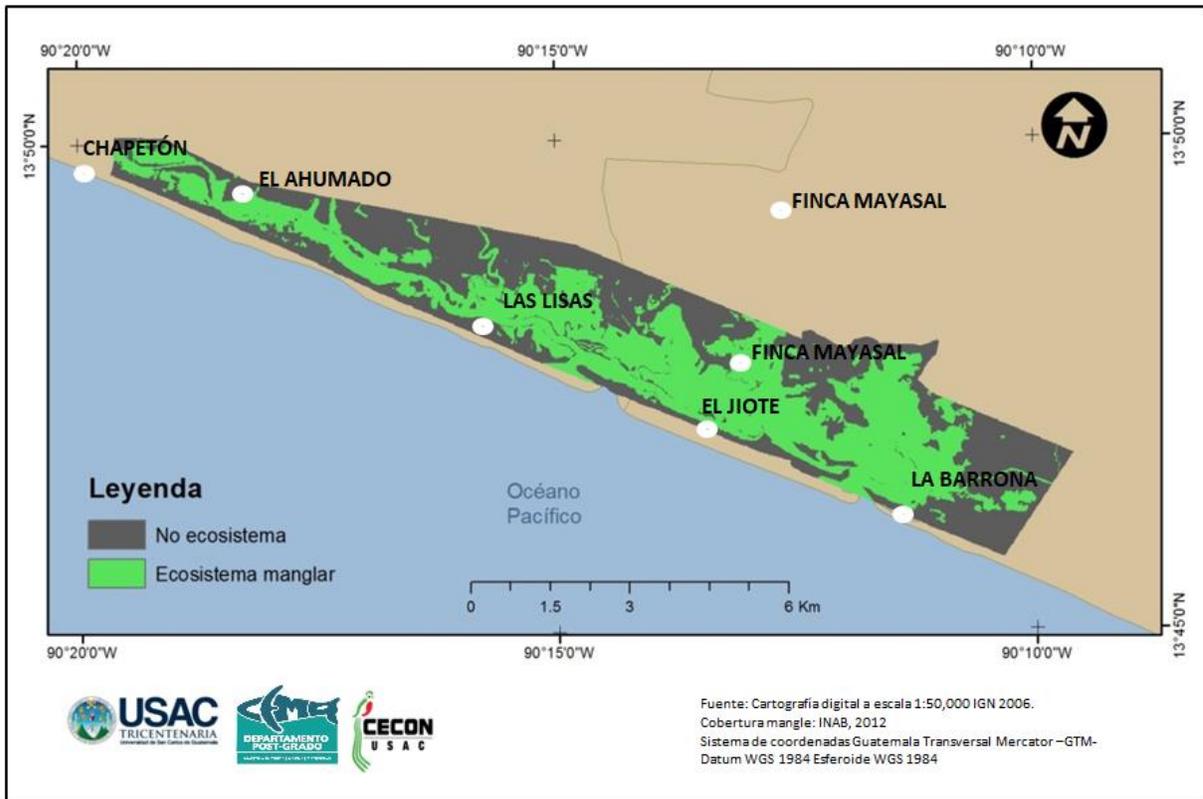


Figura 4. Mapa del ecosistema manglar del humedal Las Lisas-La Barrona

- *Análisis de conectividad*

La conectividad estructural se basó en el cálculo del MSPA de la cobertura de ecosistema manglar, lo cual permitió identificar cuáles parches de manglar están dispuestos como fondo, núcleo, borde, rama, puente, isla, perforación y lazo. Los resultados indican que la clase núcleo es la que cubre mayor área con un 80.94 %, sin embargo la clase rama es la que tiene la mayor frecuencia, seguida por el borde. Las perforaciones en el mosaico también representan una alta frecuencia, sin embargo estas cubren una cobertura poco significativa. Otra forma importante son los puentes, que aunque son importantes para mantener la conectividad del ecosistema manglar, tienen una de las más bajas frecuencias (Tabla 5, Figura 5).

Tabla 5

Porcentaje de cada clase del patrón morfológico espacial del ecosistema manglar para el área de estudio

Clase	Primer plano (Foreground) (% de la cobertura de mangle)	% del área analizada	Frecuencia	Hectáreas
Núcleo	80.94	40.36	81	1137.93
Borde	11.66	5.82	143	163.93
Perforación	3.59	1.79	138	50.47
Rama	1.49	0.74	301	20.95
Lazo	0.99	0.49	129	13.92
Puente	0.81	0.4	68	11.39
Isla	0.52	0.26	54	7.31

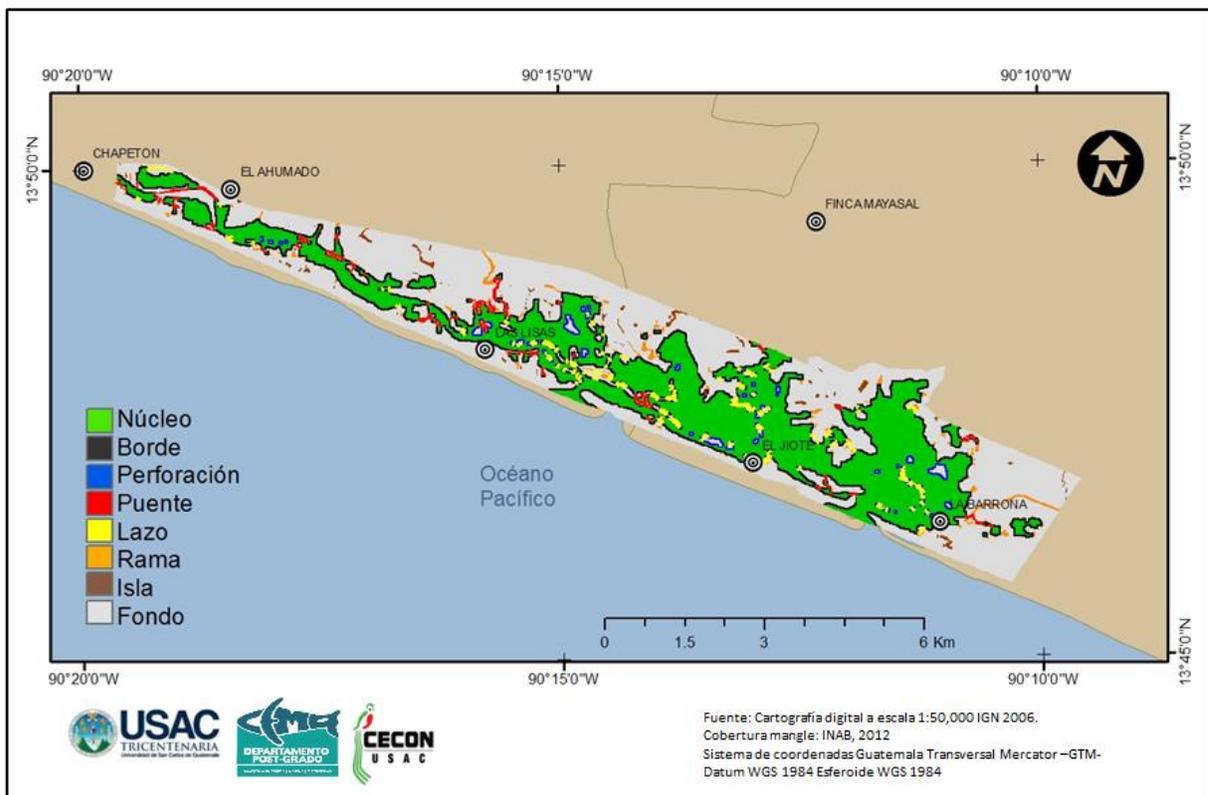


Figura 5. Patrón morfológico espacial del ecosistema manglar del área de estudio

A partir del análisis de conectividad funcional potencial realizado con la información de la cobertura de ecosistema manglar del área de estudio, se calculó el *DIIC* para identificar el aporte de cada parche a la conectividad del área, incorporando los valores de las distancias de

dispersión de las especies de aves acuáticas con base en las especificaciones de grupos funcionales de aves (*Nature Serve*), mostrados en la Tabla 3.

Los resultados proyectados en los mapas a continuación muestran cinco rangos de valor de *dIIC*, donde el color amarillo es la menor conectividad, color verde es la conectividad media y el color azul es la mayor conectividad. La conectividad se estimó para distancias de dispersión de 5km y 10km. en sus tres siguientes fracciones:

Conectividad interna (dIIC intra): Las áreas con mayor *dIIC* intra se localizan desde las Lisas en Santa Rosa hacia el área de la Barrona en Moyuta, Jutiapa, presentando los valores más altos de conectividad interna hacia la Barrona, análisis para 5 km de dispersión de las aves (Figura 6) y análisis para 10 km de dispersión de las aves (Figura 7).

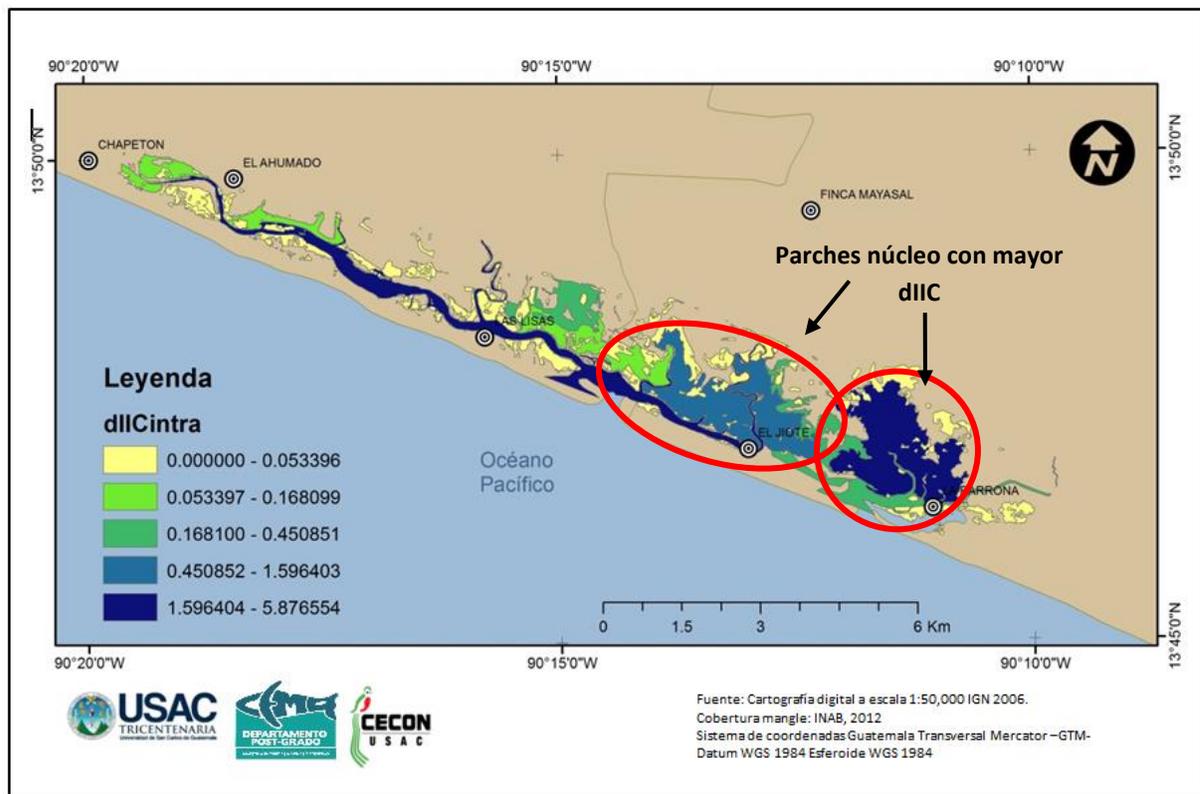


Figura 6. Mapa sobre el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*intra*) del ecosistema manglar para especies que se dispersan 5 km.

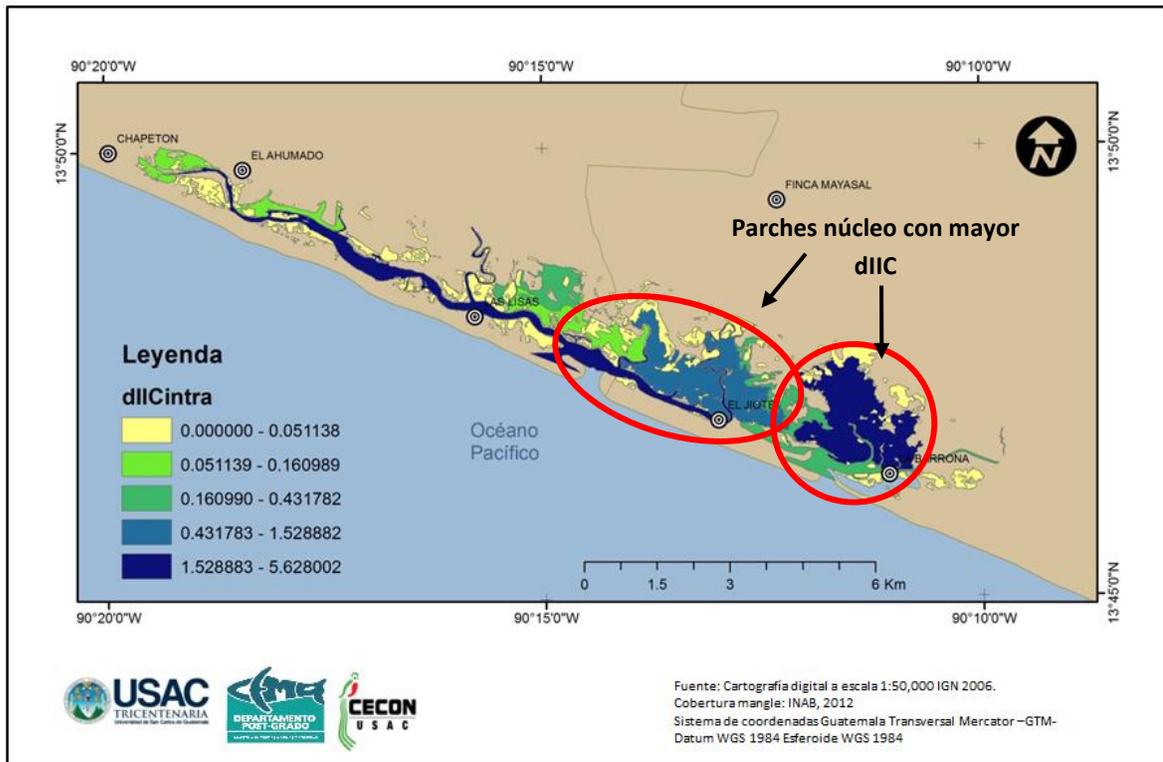


Figura 7. Mapa sobre el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*intra*) del ecosistema manglar para especies que se dispersan 10 km

Conectividad flujo (dIIC flux): El *dIIC flux* es mayor en el área de La Barrona, la cual disminuye hacia Las Lisas y se observa este patrón de disminución de la conectividad flujo hacia el área de El Ahumado, análisis para 5 km de dispersión de las aves (Figura 8) y análisis para 10 km de dispersión de las aves (Figura 9).

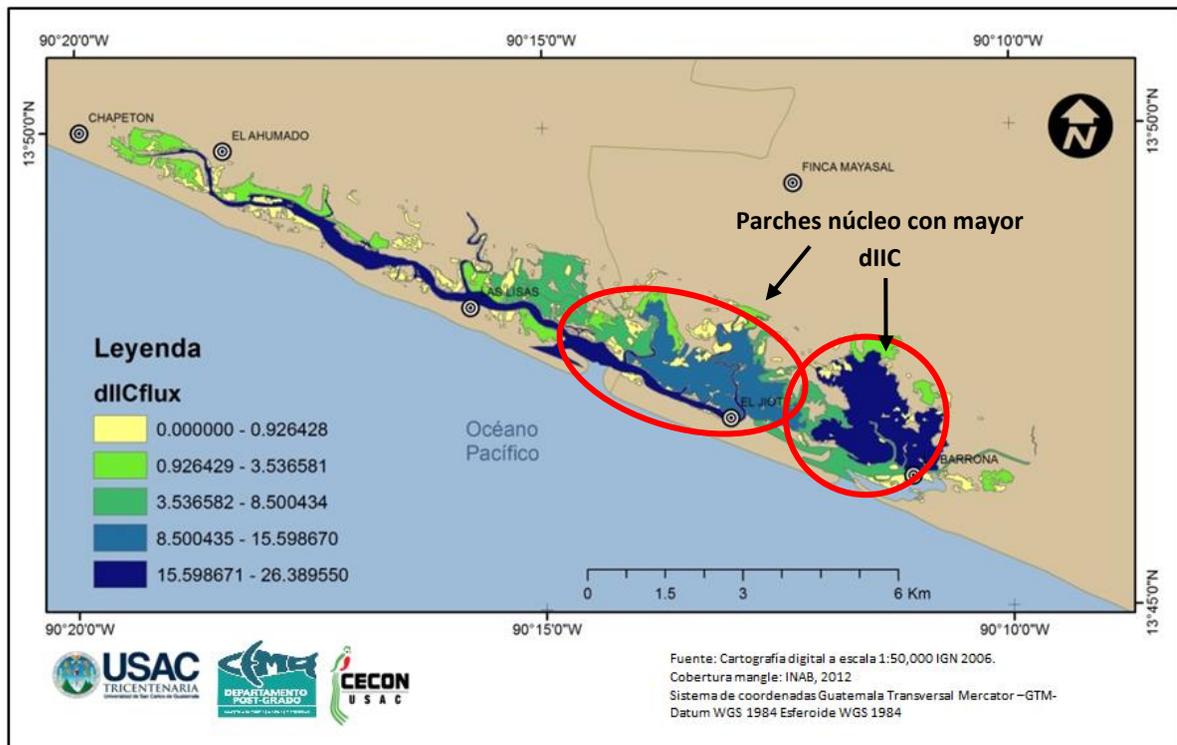


Figura 8. Mapa sobre el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*flux*) del ecosistema manglar para especies que se dispersan 5 km

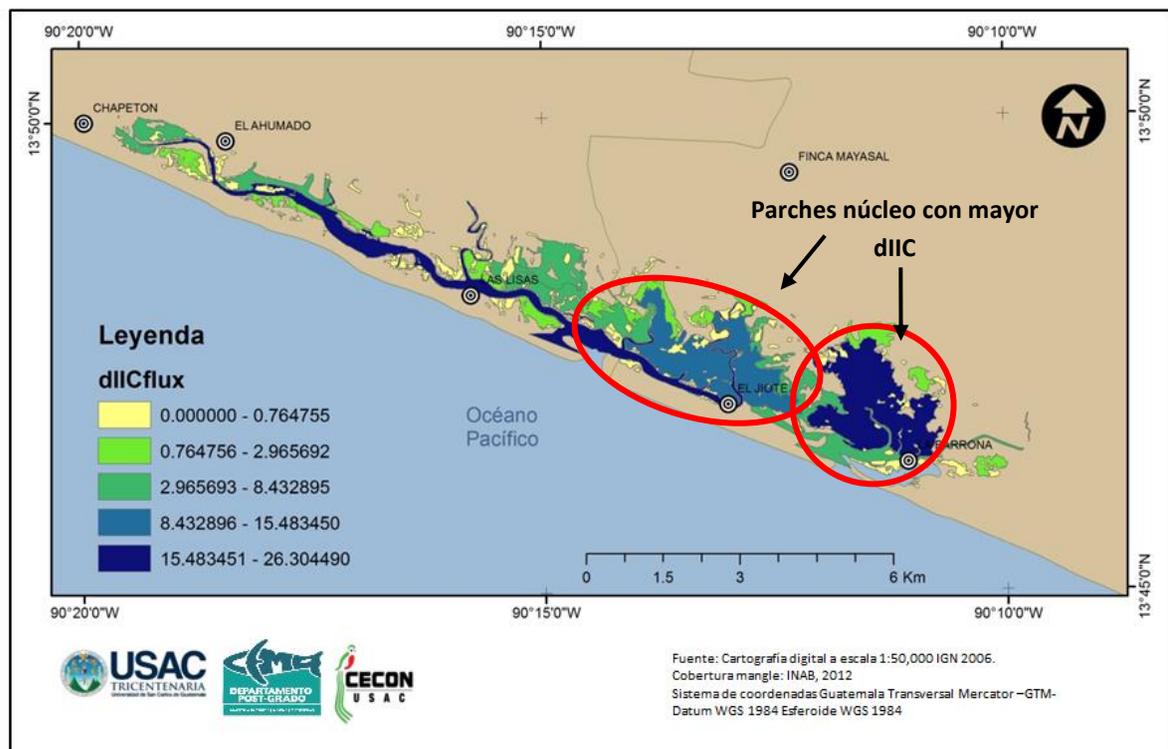


Figura 9. Mapa sobre el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*flux*) del ecosistema manglar para especies que se dispersan 10 km

Conectividad como conector o stepping stone (dIIC connector): Las áreas con mayor dIIC son las que aportan mayor conectividad, estas se localizan desde las Lisas en Santa Rosa hacia el área de La Barrona en Moyuta, Jutiapa, presentando los valores más altos de conectividad hacia La Barrona, análisis para 5 km de dispersión de las aves (Figura 10) y análisis para 10 km de dispersión de las aves (Figura 11).

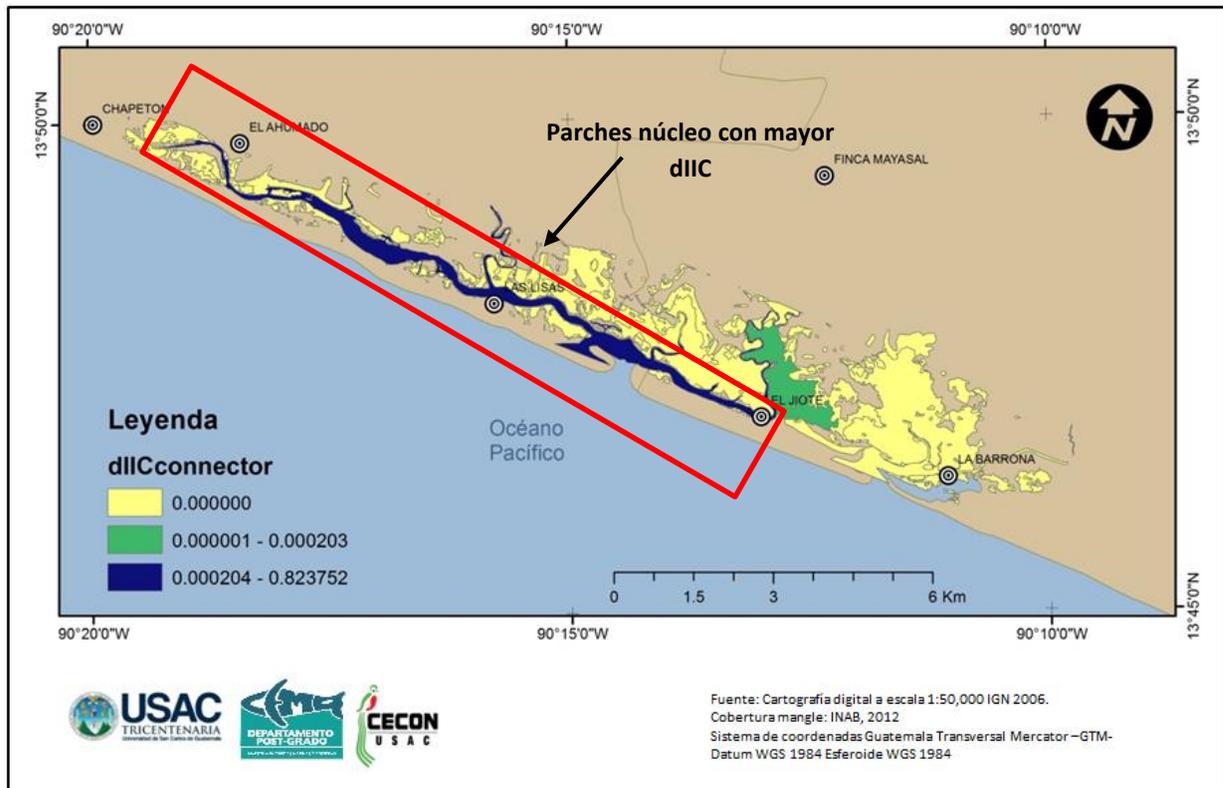


Figura 10. Mapa sobre el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*connector*) del ecosistema manglar para especies que se dispersan 5 km

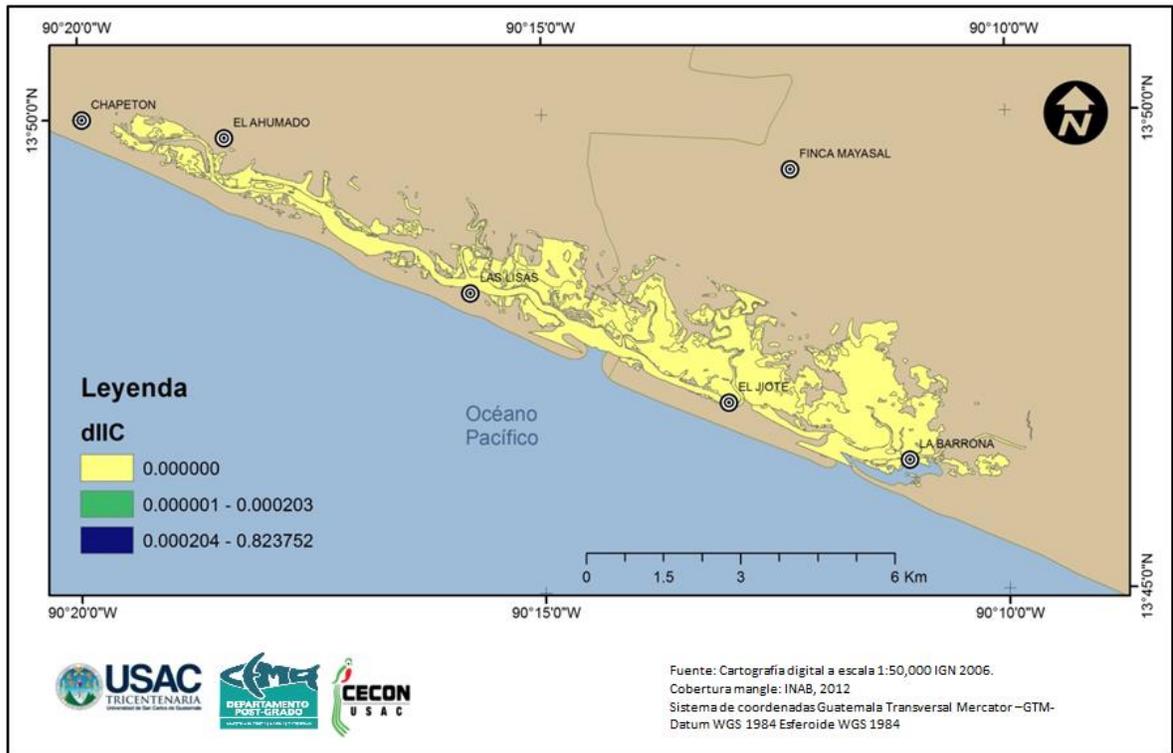


Figura 11. Mapa sobre el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*connector*) del ecosistema manglar para especies que se dispersan 10 km

En cuanto a la sumatoria de los tres fracciones (*intra*, *flux* y *connector*), los parches con mayor valor del diferencial del índice integral de conectividad (*dIIC*) tienen un mayor aporte a la conectividad integral del sistema (coloreados en azul). Se puede observar que el cuerpo de agua estuarino (Canal de Chiquimulilla) es un elemento lineal clave que conecta todo el sistema y se representa como una de las áreas con mayor importancia en el mantenimiento de la conectividad del área (Figuras 12 y 13).

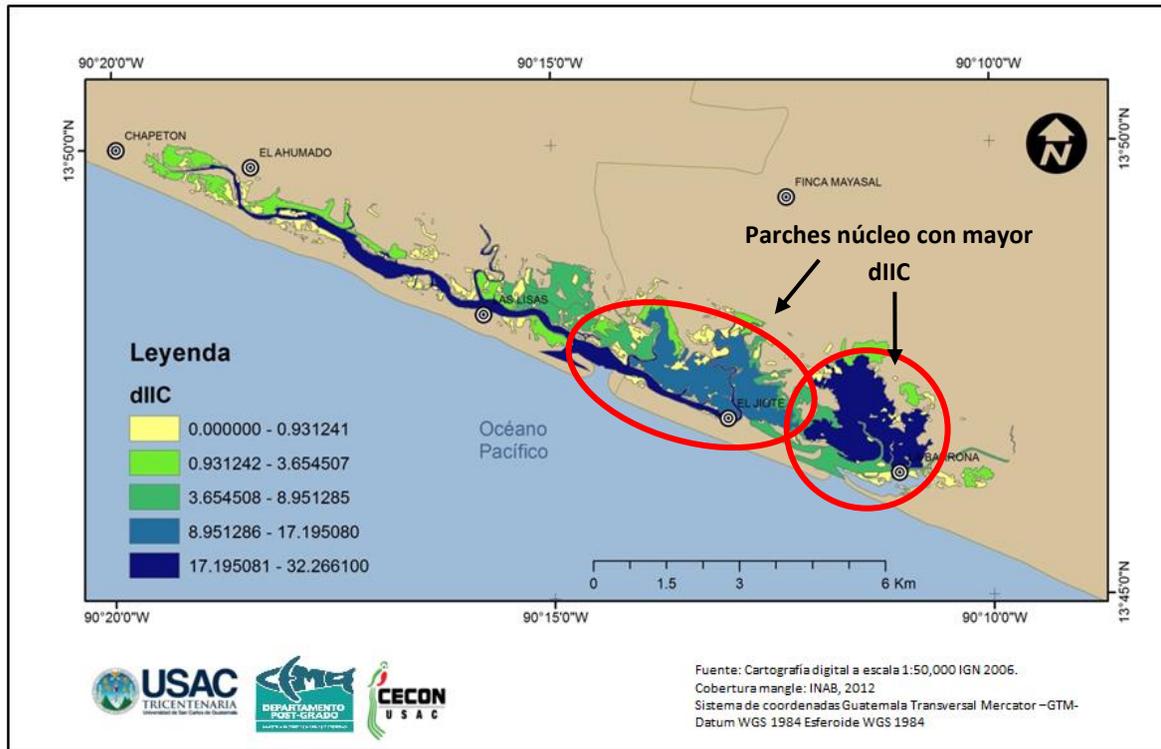


Figura 12. Mapa mostrando el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*dIIC*) para el ecosistema manglar con 5km de valor de dispersión

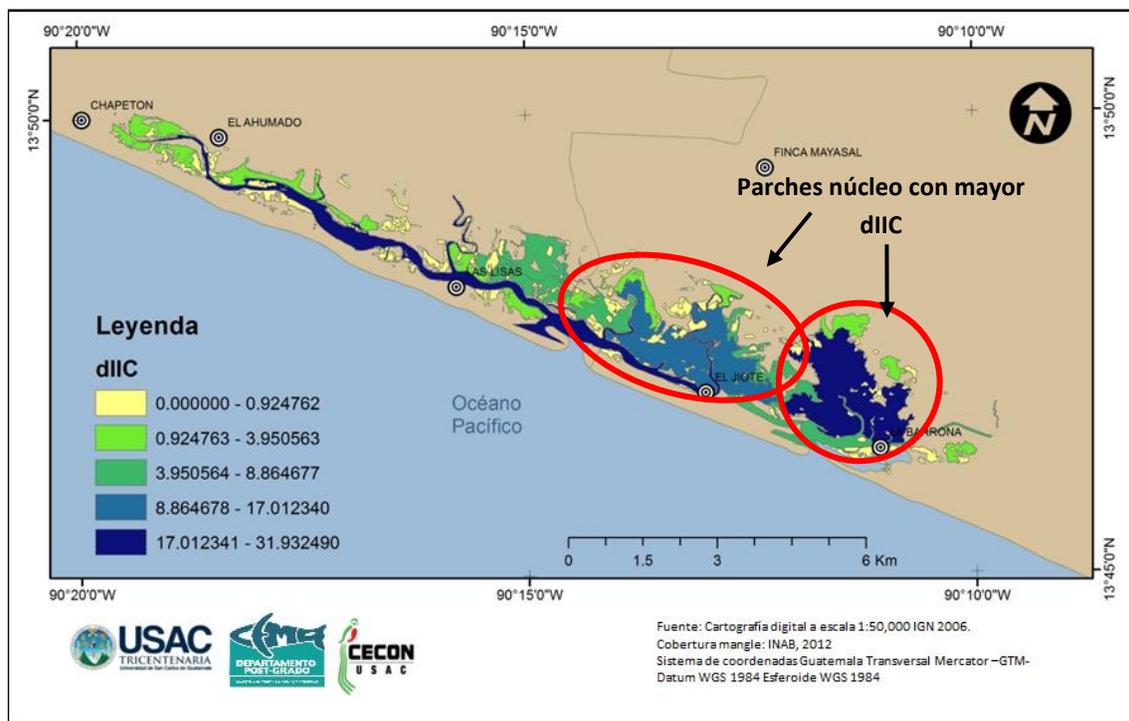


Figura 13. Mapa mostrando el valor del diferencial del índice integral de conectividad (*dIIC*) para el ecosistema manglar con 10 km de valor de dispersión

5.2 Caracterizar las amenazas para las aves y la conectividad del ecosistema manglar

- *Clasificación de fuentes de presión y amenazas para la conectividad*

El reconocimiento del área de estudio permitió visualizar las características principales de los ecosistemas de manglar y sus diferentes fuentes de presión y amenazas. Se utilizó una clasificación unificada y estandarizada de fuentes de presión y amenazas (Salafsky, et al., 2008) para describir las acciones que están provocando que los manglares se estén degradando, las cuales provienen de las actividades sociales, económicas y eventos naturales extremos que se desarrollan en el área (Tabla 6, Anexo 4).

Tabla 6

Descripción de las fuentes de presión y amenazas presentes en el humedal Las Lisas-La Barrona

Fuentes de presión	Descripción de amenazas
1. Desarrollo residencial y comercial	Asentamientos humanos u otros usos no agrícolas de la tierra
1.1 Habitación y áreas residenciales: Áreas urbanas, casa de veraneo, oficinas, escuelas, clínicas	Pueblos y asentamientos incluyendo el no-alojamiento Desarrollo típicamente integrado con viviendas
1.2 Áreas comerciales e industriales: embarcaderos	Infraestructura para fines comerciales
1.3 Áreas de turismo y recreación: áreas de balnearios, hoteles	Turismo y lugares de recreo
2. Agricultura y acuicultura	Amenazas de la agricultura y ganadería acuicultura y salineras, como resultado de expansión e intensificación
2.1 Acuicultura de agua dulce y/o salobre: granjas con estanques para el cultivo de camarones y peces	Animales acuáticos cultivados en estanques, los cuales son criados con recursos no locales y locales
2.2 Agricultura: cultivo de caña de azúcar	Cambio del uso del suelo
3. Producción de energía y minería	Amenazas derivadas de la producción de recursos no biológicos
3.1 Extracción de arena de río: acarreo de arena del río Los Esclavos, la cual es utilizada en la construcción	Modificación del lecho del río, sedimentación y modificación de los cursos de agua
4. Corredores de transporte y servicio	Caminos y carreteras y los vehículos que los

Fuentes de presión	Descripción de amenazas
	utilizan, incluida la mortalidad asociada a la vida silvestre y el deterioro del ambiente
4.1 Navegación y su impacto: dragado de canales estuarinos, aglomeración de embarcaciones turísticas y de pesca	Transporte en los cuerpos de agua para el traslado de personas, productos comerciales, productos de la pesca
5. Uso de los recursos biológicos	Amenazas derivadas del uso de recursos biológicos silvestres, incluyendo explotación de especies específicas
5.1 Tala y recolección de madera	Pérdida de cobertura por la tala de árboles de mangle y otra vegetación leñosa para madera, recolección de leña para combustible
5.2 Pesca y recolección de recursos acuáticos	Pesca con trasmallo, atarraya, anzuelo, captura de crustáceos (naza) para fines comerciales, recreativos, de subsistencia, de investigación o culturales; mortalidad accidental / captura incidental
6. Modificaciones del sistema natural	Amenazas de acciones que convierten o degradan el hábitat
6.1 Modificación y manipulación de ríos y fuentes de agua/ uso del agua: Construcción de bordas, canalización, cambio en el régimen de sal, modificación del volumen de agua, diques, desviación del agua superficial, bombeo de agua subterránea,	Modificación en los patrones de flujo de agua de su rango natural de variación deliberadamente o como resultado de otras actividades
6.2 Otras modificaciones del ecosistema	Otras acciones que convierten o degradan el hábitat natural en sistemas manejados para mejorar el bienestar humano
7. Contaminación	Amenazas de introducción de especies exóticas y/o exceso de materia orgánica proveniente de fuentes puntuales y no puntuales
7.1 Basura y desechos sólidos: residuos urbanos, basura de automóviles, desechos flotantes, escombros de la construcción.	Basura y otros materiales sólidos, que se reúnen clandestinamente en sitios dentro de los manglares, desechos sólidos que son quemados formándose una superficie plástica que recubre el suelo, representando una importante barrera
8. Eventos geológicos	Amenazas de eventos geológicos catastróficos
8.1 Marejadas y mareas de fondo	Instalación de barreras para evitar la inundación provocada por la subida del nivel del mar u oleaje extremado

Fuente: Modificado de Salafsky, et al., 2008.

- *Valor de resistencia del paisaje al movimiento*

El mapa de resistencia del paisaje al movimiento de las especies de aves que utilizan el ecosistema manglar del área como hábitat se muestra en la Figura 14. Se muestra el tipo de cobertura de acuerdo al valor de resistencia del paisaje al movimiento que se les asignó (Bartesagui, 2015) (Tabla 7).

Tabla 7

Tipo de Cobertura y usos del suelo, y valor de resistencia del paisaje al movimiento.

No.	Tipo de cobertura y usos del suelo	Área (ha)	Valores de resistencia*
1	Manglar	1,405.89	1
2	Agricultura	1,022.70	11
3	Cuerpo de agua estuarino	390.88	1
4	Salina (evaporador de agua marina)	222.79	4
5	Arena (playa)	182.39	4
6	Acuicultura	174.14	4
7	Área urbana	127.96	100
8	Huerto	65.20	4
9	Matorral	14.58	4

* Fuente: Basado en Bartesaghi, 2015.

El mapa de la resistencia del paisaje al movimiento de las especies, el cual se generó a partir de las clases de cobertura y uso del suelo y el valor de resistencia al movimiento adaptado de Bartesagui (2015), interpreta a la resistencia como una respuesta a las barreras al movimiento existentes en un territorio dado (Bartesagui, 2015), donde 1 es la menor resistencia, siendo estos los sitios con mayor intensidad de uso (manglares, cuerpos de agua), los de valores 4 poseen mayor resistencia porque son ambientes con intensidad de uso frecuente. El valor 11 es para ambientes de uso ocasional por lo que presentan mayor resistencia que el anterior valor y No dato se asignó para las barreras casi totales que evitan el movimiento de las aves (Figura 14).

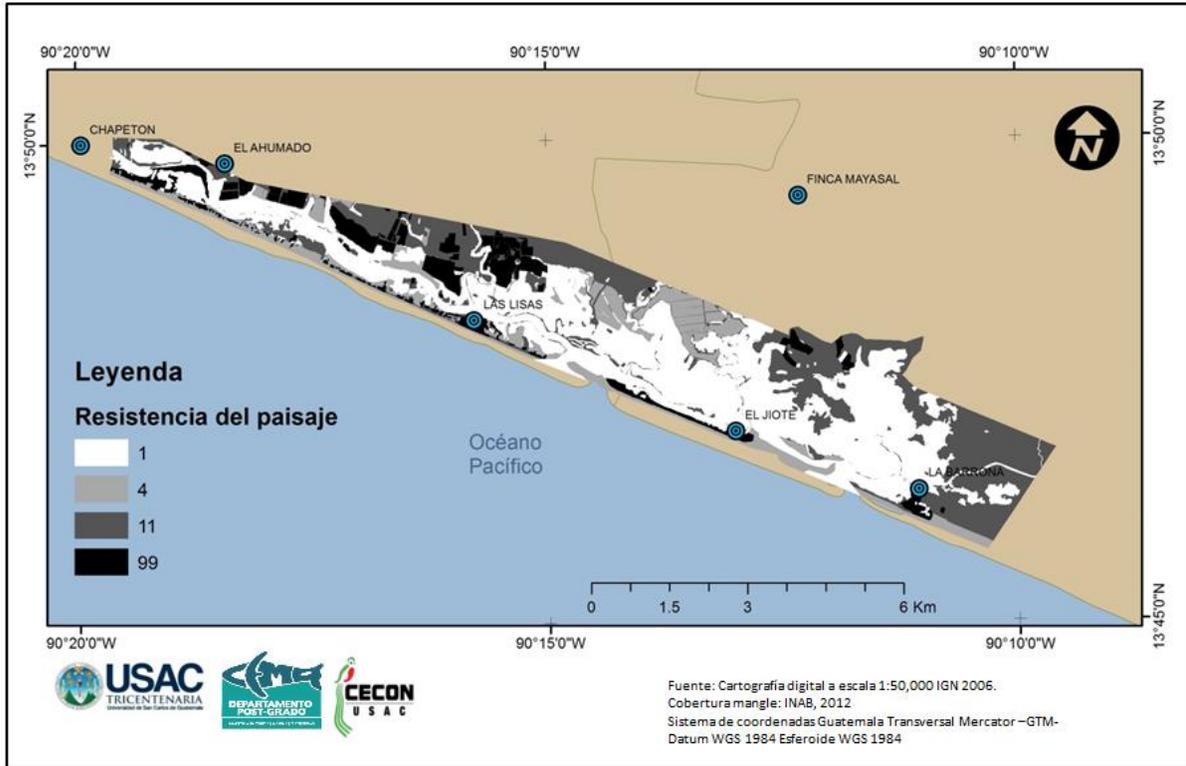


Figura 14. Mapa de resistencia del paisaje al movimiento de las especies de aves del humedal Las Lisas-La Barrona. Criterios: 1: A los ambientes de mayor intensidad de uso, manglares, cuerpos de agua, 4: A los ambientes con intensidad de uso frecuente, 11: A los ambientes de uso ocasional, y 100: a las barreras de movimiento (representa conectividad nula).

5.3 Priorizar áreas de importancia para las aves con base en la conectividad y sus amenazas

De acuerdo al mapa de amenazas y conectividad, generado con la información de la conectividad (*dIIC*) y las amenazas presentes en el área de estudio (Figura 15), las zonas núcleo coloreadas en azul son las que confieren mayor aporte en la conectividad del ecosistema manglar (matriz). Estas zonas son de especial importancia, ya que permiten el flujo de individuos de las especies de aves entre parches.

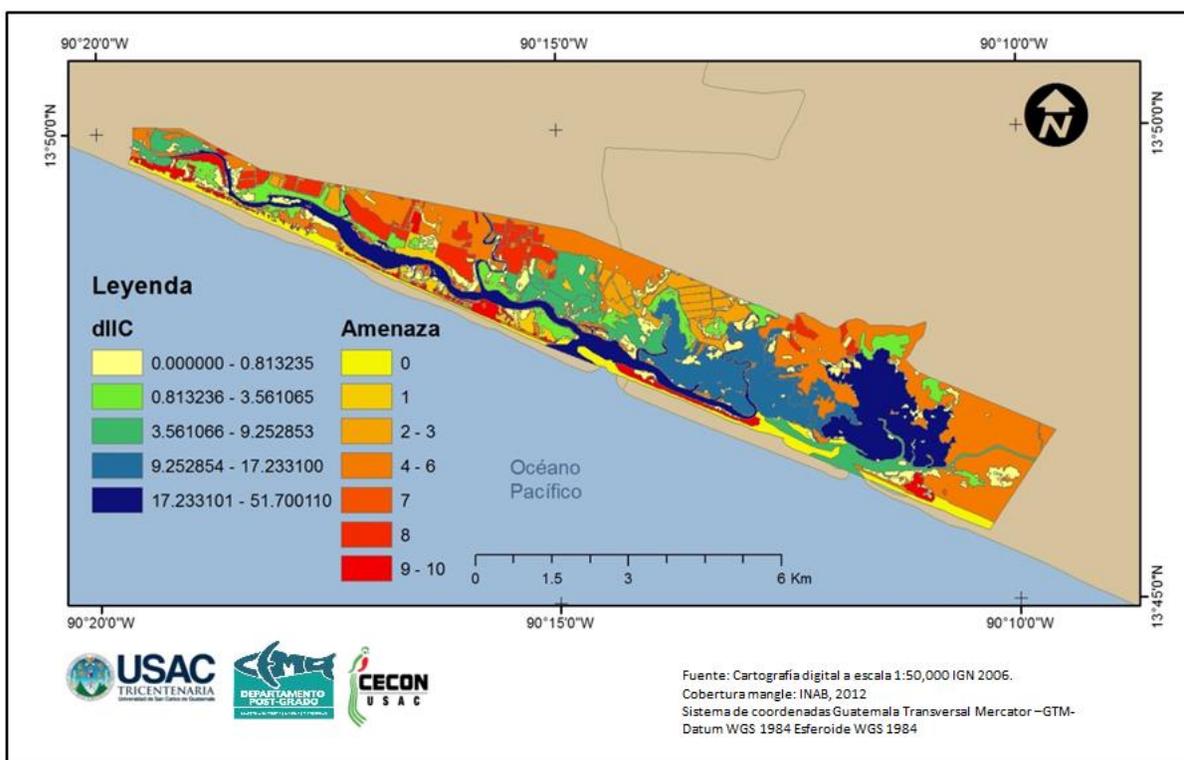


Figura 15. Mapa mostrando las amenazas y la conectividad del ecosistema manglar

Los resultados del análisis de circuitos indican que existen diferentes categorías de corriente o flujo de electricidad, lo cual se aprecia en la Figura 16, donde se observa que el color rojo posee el mayor valor de corriente acumulada o mayor paso de electricidad. En particular, las áreas coloreadas en color rojo indican que son importantes para la conectividad y se conocen como “*pinch-points*”, los cuales son sitios donde existe un alto flujo de movimiento. Estos son sitios donde se generan cuellos de botella en el flujo a través del paisaje (McRae, & Shah,

2009), radicando su importancia en que pueden ser utilizados como criterio para identificar sitios de importancia para la conectividad del sistema.

El valor de corriente acumulada va disminuyendo a partir del color amarillo y los menores valores de corriente o flujo se presentan en tonalidades celestes (Figura 16).

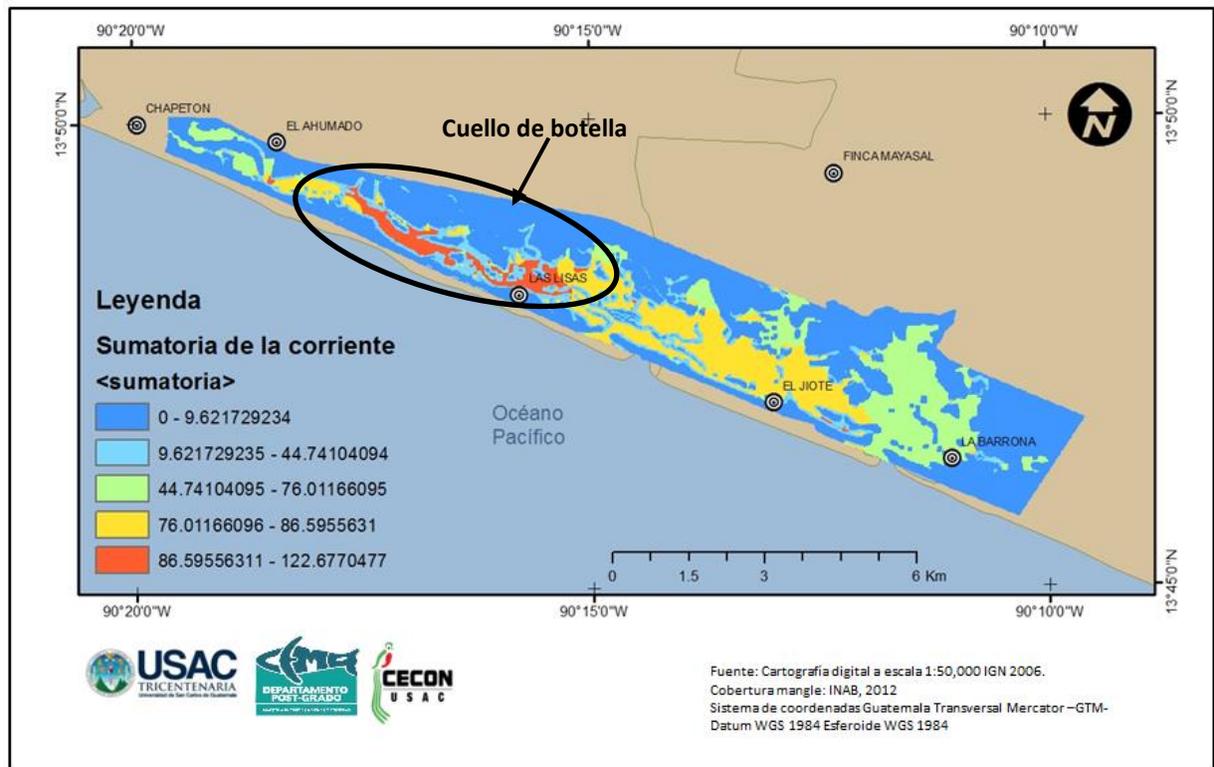


Figura 16. Mapa del análisis de circuitos

6. Discusión

6.1 Estimar la conectividad estructural y funcional del ecosistema manglar

El ecosistema manglar de Las Lisas-La Barrona ocupa un espacio de 1,405.89 ha, lo cual representa cerca del 40% del total de la superficie de este humedal. Considerando su relevancia como hábitat de grupos de especies de aves (Eisermann, & Avendaño, 2007; Salazar & Sigüenza, 2009; Dávila, García & López, 2014; PNUD, 2018) preocupa la falta de criterios y herramientas técnicas que con su aplicación contribuyan a mejorar su estado de conservación a la luz del conjunto y variedad de actividades humanas que generan la fragmentación y pérdida de conectividad ecológica del paisaje. Algunos humedales han perdido su capacidad de generar y proveer bienes y servicios ecosistémicos, actividades como la contaminación del manto freáticos, aguas superficiales y desaparición de fuentes lagunares en México es un ejemplo de ello, así como las actividades turísticas que tienen como consecuencia la reducción considerable de muchos de los sistemas de humedales por la actividad de granjas para cultivo de camarones (Landgravel, & Moreno, 2012).

Esta pérdida de humedales puede tener consecuencias negativas para las especies animales que dependen de estos sistemas para sobrevivir. El humedal Las Lisas-La Barrona es utilizado como hábitat de 96 especies de aves prioritarias para la conservación, ya sea porque son especies nativas, se encuentran en peligro de extinción y muchas de ellas presentan poblaciones de crecientes (IUCN, 2018). Todas estas especies pueden verse afectadas por la fragmentación y pérdida de hábitat, pero principalmente algunos grupos funcionales que tienen requerimientos de hábitat relacionados con la reproducción, tal es el caso de aves zancudas del Orden Ciconiiformes, quienes anidan con frecuencia en estos ecosistemas: *Cochlearius cochlearius* (L.) (Pico de zapato), *Nycticorax nycticorax* (L.), *Butorides virescens* (L.) (garza verde), *Bubulcus ibis* (L.) (garza garrapatera), *Egretta tricolor* Müller, *Egretta thula* Molina, *Ardea alba* L. (garza blanca), *Ixobrychus exilis* Gmelin, de la familia Ardeidae y *Platalea ajaja* (L.) (espátula rosada), *Euducimus albus* (L.) (ibis blanco) de la familia Therskiornithidae (López, 2011).

De acuerdo a Santos, & Tellería, (2006) la fragmentación del paisaje tiene una incidencia perjudicial sobre la sobrevivencia de las especies de fauna, en especial sobre las aves, ya que algunas variables de la fragmentación y destrucción del hábitat pueden ser:

- La pérdida de la cantidad de hábitat, disminución en el tamaño medio de los parches,
- El aumento del número de parches de hábitat resultantes,
- Aumento de la distancia entre parches, poblaciones aisladas,
- Aumento en la relación perímetro superficie, mayor exposición del hábitat fragmentado, creciente efecto de borde, origina el deterioro de la calidad de hábitat.

En la fragmentación generalmente se reduce el área total de hábitat, tamaño de parches de hábitat individuales y proximidad entre parches, aumentándose la cantidad de hábitat de borde. Lo anterior sin duda puede dar lugar a disminuciones de la población de aves, reduciendo espacio para territorios, sitios de nidificación y otros elementos críticos como los recursos alimenticios. La cantidad de hábitat de borde también puede afectar a las poblaciones de aves por impacto negativo en el éxito reproductivo, supervivencia, emigración y/o tasas de inmigración en el hábitat restante. Debido a la importancia del éxito de anidación para la dinámica de las poblaciones de aves, existen muchos estudios empíricos que estudian los efectos de la fragmentación del hábitat en la supervivencia del nido (Stephens, Koons, Rotella, & Willey, 2003).

A este respecto, la alta dependencia y selectividad que muestran algunas especies hacia el ecosistema manglar, como lo son: *Seiurus noveboracensis* (señorita de manglar), *Dendroica petechia* (chipe de manglar) y *Buteogallus anthracinus* (gavilán), constituye un ejemplo conocido que ilustra el riesgo que corren algunas aves ante la fragmentación de estos importantes humedales (Blanco Rodríguez, & Sánchez Oria, 2002). En el caso de *Dendroica petechia* (chipe de manglar), es la especie de ave terrestre más abundante, distribuida en todos los manglares de Centroamérica (Komar, Rodríguez, & Dueñas, 1997), existiendo evidencia de la relación evolutiva que han tenido con las plantas que les brindan hábitat para la alimentación. Los manglares de México, Colombia, Venezuela, Las Antillas y Panamá son conocidos por suministrar hábitat a una diversidad de aves tanto residentes como migratorias insectívoras en diversas regiones tropicales (Lefebvre, Poullin & McNeil, 1991).

De acuerdo a Bartsagui (2015), desde la visión de las especies, el paisaje está compuesto de una serie de parches que conforman un hábitat idóneo que se encuentra sumergido en una matriz de hábitat no idóneo, por medio de los cuales las especies pueden desplazarse para movilizarse de un parche a otro.

El ecosistema manglar de Las Lisas-La Barrona presenta una conformación espacial definida por diferentes tipos de parches. A partir del cálculo del MSPA se identificó que el 80.94% de los parches tienen una disposición de núcleo, encontrándose los de mayor tamaño en las aldeas El Jiote y La Barrona. A causa de su alto porcentaje de disposición en relación con los demás parches, potencialmente tiene poblaciones de aves con menor riesgo de extinción, por lo que estos parches podrían cumplir la función de continente y ser fuente de especies que migren hacia los parches o fragmentos pequeños (Alonso-F et al., 2017). Esto tiene implicaciones decisivas en la planificación de acciones de protección del ecosistema, ya que se pueden considerar como parches que permiten el flujo constante de especies, lo cual sugiere que este tipo de parches deben ser priorizados en la planificación del humedal Las Lisas-La Barrona, por lo que son elementos del paisaje de conservación prioritaria.

Dado que los parches más grandes del área son El Jiote y La Barrona, las cuales son islas de hábitat separadas por la matriz de no hábitat, su importancia se fundamenta en la teoría de la biogeografía de islas (MacArthur, & Wilson, 1967), que es el marco de explicación de los efectos sobre la biodiversidad de la pérdida y fragmentación del hábitat, partiendo de dos premisas básicas: (1) existencia de un continente o fuente de colonizadores (p. ej., un gran parche de hábitat continuo situado en la misma región que los fragmentos de hábitat), y (2) la consideración de la matriz como una sección de no hábitat que no ofrece ningún recurso a las especies aisladas en los parches. En este escenario, el continente, es un parche de tamaño suficiente como para albergar poblaciones viables de todas las especies de la región, que suministraría los individuos necesarios para mantener, a través de procesos de recolonización y reforzamiento demográfico, dependiendo de la capacidad dispersiva de las especies (Santos, & Tellería, 2006).

Al considerar al conjunto de parches núcleo con la función de continente o fuente, dentro de la planificación del humedal Las Lisas-La Barrona, resalta el hecho de que proveen una mayor

superficie y continuidad de hábitat para las aves presentes. Derivado de esto, si se consideran estos parches como zonas de conservación dentro de una posible zonificación, se fomentaría su función de fuente, asegurando de este modo la provisión de genes y especies de aves a todo el sistema.

En el caso de que no existiera un importante porcentaje de parches tipo núcleo en el área, como el que muestran los resultados, esto podría reflejar un paisaje fragmentado, lo cual repercutiría de manera negativa en la conectividad, debido a que aunque puedan existir muchos fragmentos pequeños, no logran cumplir con la función de continente, ya que no logran mantener poblaciones viables tal como lo hacen los fragmentos continuos y extensos (Santos, & Tellería, 2006).

Los parches tipo perforación presentan una cobertura poco significativa pero con alta frecuencia y están inmersos en los parches núcleo. Estos parches son espacios internos que proveen condiciones de microhábitats particulares donde se da la sucesión vegetal, que se ve favorecida por la incidencia de iluminación en la perforación y el ingreso de la lluvia permitiendo la regeneración natural. La regeneración natural se refiere a los individuos jóvenes y brinzales, que se presentan en el sotobosque y que constituyen parte de la sucesión natural secundaria y permiten la estabilidad o equilibrio del bosque (Sánchez, Ulloa, Álvarez, 1998). Siendo parte de la dinámica natural de los bosques, las perforaciones presentan una oportunidad para fomentar la regeneración natural dentro de las acciones de restauración del manglar en el humedal Las Lisas-La Barrona.

De los parches tipo borde identificados, hay que resaltar que son también prioritarios para el manejo, funcionando como espacios amortiguadores de los parches núcleo, porque confieren protección del efecto de borde. La disminución del tamaño de los fragmentos se asocia a un incremento inevitable de la relación perímetro/superficie, creándose en todos los fragmentos una franja perimetral de hábitat con condiciones adversas para muchas de las especies allí presentes; es decir, se produce una zonificación en un hábitat de borde (de baja calidad) y un hábitat de interior (de alta calidad). La pérdida de calidad se debe a la incidencia de múltiples factores físicos y bióticos de la matriz de hábitat, con malas consecuencias para la supervivencia de las especies (Santos, & Tellería, 2006).

Por consiguiente, los bordes deben ser considerados como relevantes, desde la perspectiva del manejo, como potenciales zonas de amortiguamiento para los parches núcleo, y tomar en cuenta esta condición en el manejo de los manglares, fomentando su reforestación y medidas intensivas de protección para asegurar la supervivencia de las especies disminuyendo la presión sobre las mismas (Santos, & Tellería, 2006).

Los parches tipo rama presentaron un porcentaje de 1.49%, estando presentes en Las Lisas, El Jiote y La Barrona. Este tipo de parches toman relevancia por su potencial para vincular el ecosistema manglar de Las Lisas-La Barrona con ecosistemas de manglar aledaños al área de estudio, como lo es el Parque Nacional Hawaii. Al desarrollar acciones de restauración de manglares, dichos parches pueden ser la base para establecer zonas prioritarias para la recuperación con miras a que vuelvan a conectar parches tipo núcleo, convirtiéndose estos en puentes, ya que al recuperarse la estructura de la vegetación se recuperará la cobertura forestal para la conectividad.

Con respecto a los parches tipo puente (0.81%), estos juegan un papel relevante dentro del conjunto de parches de manglar, ya que son la base para mantener el flujo de especies de los núcleos hacia los bordes e islas alejados, funcionando como corredores. Este tipo de parches de hábitat pueden servir como puentes de paso para las especies y se encuentran principalmente en los poblados de El Chapetón, El Ahumado y Las Lisas, los cuales justamente presentan los parches núcleo de menor tamaño, por lo que es necesario priorizar estas áreas para hacer proyectos de producción sostenible y conservación donde se busque aumentar la calidad del ecosistema manglar en términos de estructura y funciones ecológicas. Asimismo, estos parches deben ser considerados como los vínculos principales de conectividad entre los parches fuente del sistema con los demás parches, por lo que es prioritaria su restauración ecológica, considerando que la conectividad entre los fragmentos de hábitat aptos para las aves, se convierte en pieza clave para la conservación de las poblaciones, debido a que permiten que el sistema se comporte como un corredor biológico (Herrera, & Díaz, 2013).

Si los parches tipo puente no estuvieran presentes en el área se correría el riesgo de carecer de una base espacial para fomentar la conectividad en los parches núcleo. Ello toma relevancia

por el hecho de que la fragmentación de los hábitats, además de reducir la superficie y empeorar las condiciones locales de las poblaciones, dificulta también la conectividad entre hábitats similares, contribuyendo a la pérdida de diversidad biológica, al limitar las posibilidades de migración, dispersión e intercambio genético (Herrera Calvo, & Díaz, 2013). Esta interrupción de la conectividad podría tener consecuencias negativas, debido a que se alteraría el intercambio de especies y genes con consecuencias ecológicas desconocidas (Feller, 2010).

Por otro lado, los parches tipo isla sobresalen en El Ahumado y El Jiote y aunque es uno de los tipos de parche que se encuentra menos representado, estos adquieren relevancia como elementos útiles en las acciones y técnicas de restauración de manglares mediante su utilización como islas naturales de nucleación de manglar, como en el caso de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, en donde se establecieron este tipo de acciones de restauración (López, Morales, Soberanis, & Ramírez, 2016).

La conectividad funcional de un paisaje sucede cuando los individuos de una especie determinada pueden desplazarse con libertad entre parches de hábitats (Bennett, 1998). En este caso se vinculan las características estructurales del paisaje con la capacidad de movilización de las especies dentro del mismo. Al realizar el análisis de conectividad funcional se incorporó información sobre la dispersión de las especies de aves, reunidas en grupos funcionales que sirvieron como representantes para las especies nativas y los procesos ecológicos (Alonso, et al., 2017; Rubio, Rodríguez, Mateo, Estreguil, y Saura, 2012).

La cuantificación del aporte de conectividad de cada parche, a partir de la definición de un rango 5 y 10 km como capacidad de dispersión de las especies, mostró que para el área de estudio, la zona con mayor probabilidad de conectividad según el índice dIIC se encuentra en La Barrona y El Jiote. Esto es resultado de la presencia de parches que interconectan el sistema y cercanía entre ellos que puede permitir un flujo constante entre los mismos, como se observa en el dIIC *connector* y dIIC *flux*, respectivamente.

Con respecto a la conectividad interna y la función de cada parche como conector hacia otro parche (puntos de paso), es decir, sus aportes para conectar con otras áreas, los parches de mayor relevancia para mantener la conectividad del paisaje son los parches núcleo que se

encuentran en la comunidad La Barrona y El Jiote en el municipio de Pasaco, disminuyendo en importancia los parches núcleo hacia Las Lisas y El Chapetón. Por su importancia, estos deben ser considerados como elementos de conservación, por lo que debe ponerse en práctica la gestión para mantener su protección o mejorar su estado de conservación. La importancia de estos parches de manglar en la comunidad La Barrona y El Jiote se ve reflejada en su estructura, ya que poseen características de bosques desarrollados, con árboles que miden entre 12 a 25 m de altura, ubicándose los manglares menos desarrollados en la aldea Las Lisas, donde se observan formaciones vegetales poco densas con alturas entre seis y 12 m. Por otro lado los manglares de la comunidad El Ahumado y El Chapetón dan un menor aporte a la conectividad, siendo estas prácticamente cortinas de árboles ubicadas en la orilla de los canales estuarinos (Dávila, García, & López, 2014; Godoy, 1980).

Esto se ve reflejado en el cálculo del dIIC *flux* y *connector*, ya que los valores mayores en aportación de conectividad van de La Barrona y El Jiote y disminuyendo hacia El Ahumado y Chapetón. En general, para las tres fracciones del dIIC (*intra*, *flux* y *connector*) estimados, el parche de manglar de la aldea La Barrona y el cuerpo de agua estuarino siempre presentaron los mayores valores de conectividad, lo cual indica que es el parche núcleo que mayor conectividad aporta a todo el sistema, conjuntamente con el canal estuarino. Este hallazgo evidencia la importancia de considerar el manejo integral del ecosistema manglar, incluyendo todos los parches, pero principalmente aquellos que reflejan una importancia relevante para la conectividad del área. De esta manera, es necesario que se priorice La Barrona como una de las zonas núcleo que juega un papel indiscutible en la provisión y flujo de especies y en el sostenimiento del ecosistema. Aquí resalta la importancia de que se realicen las gestiones por parte de las entidades de gobierno para favorecer y negociar la planificación del área bajo su liderazgo y que represente los intereses nacionales bajo el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) y sus metas para la biodiversidad, asegurando que piezas estratégicas del humedal Las Lisas-La Barrona sean incluidas en el marco de su gestión para su planificación y ordenamiento territorial y en seguimiento a su designación como área protegida y sitio Ramsar o cualquier otra figura de manejo y planificación que pueda orientar su manejo sostenible.

Sin embargo, la mayoría de los parches (fragmentos) resultan ser de importancia para la conectividad del ecosistema de manglar y para la continuidad de procesos ecológicos del humedal. Aunque algunos parches como los puentes, bordes y ramas son poco extensos en

superficie, cumplen una función estratégica de amortiguamiento y enlace para los parches núcleos que son masas forestales conservadas y de vínculo entre todos los elementos del paisaje.

La existencia de parches de tipo amortiguador y vínculo, favorece a especies animales, sobre todo si sus poblaciones son sensibles a las perturbaciones, debido a que el efecto de borde se reduce. Esto se debe a que cualquier cambio en el uso del suelo, como la construcción de una barrera, altera el balance energético y, por lo tanto, afecta el clima, contribuyendo a cambios en la diversidad y composición de especies, trayendo consigo perturbaciones en la formación del suelo, fotosíntesis, composición y estructura de la vegetación y comunidades animales asociadas, dependiendo del hábitat entre otros factores, la distancia de penetración de los efectos del borde, que a su vez varía en distintas fronteras ecológicas en función de la altitud, orientación y relieve (Delgado, Arévalo, & Fernández, 2004).

Respecto a la función que realizan como enlaces (puente, lazo, rama y borde), hay que resaltar que son claves como fragmentos que hacen posible mantener una ruta de intercambio entre los parches núcleo o las masas forestales principales, como la comunidad La Barrona y la Finca Mayasal. Estas unidades de paisaje son relevantes y deben ser consideradas por cualquier proyecto de conservación en la zona como potenciales piezas estratégicas de un corredor biológico (Aguilar, et al., 2014).

6.2 Caracterizar las amenazas para las aves y la conectividad del ecosistema manglar

La conectividad ecológica ha sido definida como la medida en la que el paisaje impide o facilita los movimientos entre los elementos que lo componen, explicando el cómo suceden los flujos de materia y energía dentro del paisaje, es decir, el movimiento de especies vegetales y animales y de qué forma son condicionados por su estructura. Esta es información relevante por su incidencia en la planificación ecológica de un territorio determinado. No obstante, para una comprensión adecuada de las implicaciones que tiene la conectividad en los procesos de planificación y gestión territorial, es necesario analizar cómo esta conectividad condiciona el funcionamiento de un ecosistema para poder incidir en los efectos ecológicos de la ausencia de conectividad derivada de la fragmentación asociada a las amenazas presentes en un área determinada por efecto de las actividades humanas que generan barreras físicas y cambios en el uso del suelo (Delgado, et al., 2004).

Para el caso del humedal Las Lisas-La Barrona, existen ocho tipos de amenazas a la conectividad que se derivan de las actividades humanas, las cuales están provocando que los manglares se fragmenten en pequeños parches. Para el abordaje de estas amenazas, conocer su disposición espacial es el punto de partida para afinar la planificación de los usos del área y para tomar las decisiones pertinentes en cuanto al ordenamiento del área para su futuro aprovechamiento y conservación. En este sentido, la estrategia de conservación para el área debe considerar la importancia de la conectividad de los ecosistemas y los efectos de los procesos de fragmentación de hábitats sobre la fauna, en este caso particular para las aves, ya que este es un aspecto que no puede obviarse dentro de las políticas de conservación de la diversidad biológica. Debe prevalecer como finalidad evitar la fragmentación de los hábitats, lo que a su vez evitaría el aislamiento de especies, fomentando el intercambio de individuos entre poblaciones, considerando que el aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones fragmentadas, afectadas por la reducción demográfica y el aislamiento genético, tiene como consecuencia última que sucedan procesos de extinción de especies (Gurrutxaga, & Lozano, 2006).

La probabilidad de que se produzcan extinciones locales puede ser fomentada por la afectación del movimiento de las especies en la matriz del paisaje debido a que disminuye el hábitat disponible para ello, afectando el flujo de individuos entre localidades.

Por lo que se debe considerar que una de las amenazas más impactantes es el desarrollo residencial y comercial, ya que el cambio en el uso del suelo, la ocupación de la infraestructura y la posterior utilización de recursos crean un impacto importante. En el caso del área de estudio, la infraestructura con fines de alojamiento, ya sea turística o residencial, se encuentra asentada en la zona del médano entre la zona estuarina y la zona marina. A partir de ella se genera contaminación, explotación del agua subterránea, aporte de contaminantes como aguas servidas, desechos sólidos y degradación de áreas colindantes a través del efecto de borde.

Por otro lado, a medida que los sistemas agrícolas se han ido intensificando en todo el mundo, los impactos sobre los ecosistemas se han hecho más evidentes con el tiempo. Esto se debe a que la agricultura puede afectar las funciones de los ecosistemas en diversas formas. A nivel del paisaje, la agricultura produce una reconversión de las cubiertas terrestres y la eliminación

de ciertas características del paisaje, generando la pérdida de las coberturas del suelo y la perturbación de la estructura del mismo. La producción de plantas domésticas afectan de manera directa a la diversidad biológica mediante la sustitución de plantas de aparición natural y espontánea. Los impactos de la agricultura sobre las funciones de un ecosistema pueden radicar en afectar (1) la estructura del suelo, (2) los nutrientes y microorganismos, (3) el ciclo del agua, (4) la complejidad del paisaje y (5) propiedades atmosféricas. La agricultura afecta la estructura del suelo y la biota, fundamentalmente, a través de la reducción de material orgánico que se incorpora por encima de la tierra y de las raíces, por la roturación del suelo debido a las labores de cultivo (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2011).

En el caso de Las Lisas-La Barrona, la expansión e intensificación de la agricultura dieron como resultado la transformación del hábitat y aislamiento de los parches de ecosistema manglar. Esto se debe a que son actividades que implican modificaciones a nivel de remoción de cobertura forestal a través de lo cual se pierde en su totalidad la conectividad, ya que las áreas de cultivo no son utilizadas por las especies de humedal y representan barreras del movimiento de las especies de aves. Los cambios de uso por actividades agrícolas son mucho más frecuentes. Estos cambios condicionan la estructura y el funcionamiento de los agroecosistemas, alterando las direcciones de conectividad en muchos de los parámetros, bióticos y abióticos, como lo que sucedió en los años 70 y 80, período durante el cual se dio la intensificación de la agricultura, la cual estuvo ligada a la concentración parcelaria, la mecanización y la modernización de las explotaciones, y como consecuencia se homogenizó el paisaje, se eliminaron las zonas de borde y aumento el uso de pesticidas (Calabuig, 2013).

Con respecto a las amenazas derivadas de la producción de recursos no biológicos en el área de estudio, la minería a cielo abierto, la extracción de arena del río Los Esclavos, la cual es utilizada en la construcción de infraestructura, provoca la modificación del lecho del río, sedimentación y modificación de los cursos de agua. Siendo el río Los Esclavos uno de los principales ríos que desembocan en el área de influencia de Las Lisas-La Barrona, es de suma importancia señalar esta actividad, ya que a largo plazo podría afectar la conectividad del área. Debido a que las afecciones paisajísticas y ecológicas provocadas por las actividades de la minería a cielo abierto, se debería considerar obligatoriamente el concepto de capacidad de

carga del territorio para cada tipo de actividad y para el total de actuaciones posibles en la fase de planificación relacionada con planes y programas de desarrollo. Es fundamental considerar la capacidad máxima de ese territorio para asimilarlos cambios sin alteración significativa de su calidad. Sería simplemente aplicar el concepto de desarrollo sostenible con base a la fragilidad de los paisajes o de los ecosistemas (Calabuig, 2013).

En el caso de los corredores de transporte y servicio, la navegación es fundamental para el traslado de personas, productos comerciales, productos de la pesca, entre otros. Sin embargo, estos corredores de transporte provocan la aglomeración de embarcaciones turísticas y de pesca, representando una barrera de movimiento para las aves. Por lo que para mantener los cuerpos de agua estuarinos con las condiciones ideales para navegar es necesario realizar periódicamente el dragado de los canales estuarinos por el asolvamiento que causa la modificación de los caudales de los ríos en las cuencas hidrográficas. Las mismas están siendo sometidas a la alteración de sus caudales, principalmente por el mayor causante de la degradación de los humedales, la expansión de la frontera agrícola.

En Latinoamérica la gestión del agua sigue siendo altamente sectorial y dirigida por intereses económicos y desarrollistas que no involucran positivamente a los sectores más marginados de la población, y Guatemala no es la excepción. Sin embargo, existen tendencias a mejorar los procesos de gobernabilidad sobre los recursos hídricos en los distintos países. A la fecha aún no se ha logrado establecer un justo valor del agua y hay numerosos ejemplos de diferencias inequitativas en el precio que pagan ricos y pobres por el agua, a pesar de que existe una estrecha relación entre la hidrología y los servicios ecosistémicos como la regulación, la recreación, el transporte y el suministro del agua (Guerrero, Keizer, & Córdoba, 2006).

Con respecto a la pesca y recolección de recursos acuáticos, las artes de pesca como el trasmallo, atarraya, anzuelo, captura de crustáceos (naza) para fines comerciales, recreativos, de subsistencia, de investigación o culturales provocan mortalidad accidental y/o captura incidental de especies no objetivo. Lo anterior contribuye a la degradación del humedal por un uso intensivo sin visión de sostenibilidad. Ello se debe a que además del mal uso de los elementos de la diversidad biológica, con las artes de pesca se crean barreras físicas para el

movimiento de las especies estuarinas, incluyendo a las aves, quienes muchas veces son víctimas de dichas artes de pesca o actividades relacionadas con la pesca.

Una de las actividades que mejor representa en el área las modificaciones del sistema natural es la producción de sal, principalmente por la modificación de la cobertura vegetal del suelo, removiéndose esta para luego cubrir el suelo con nylon negro donde se deposita el agua marina para su evaporación, representando ello una pérdida de cobertura y afectando la conectividad ecológica de los manglares.

La basura y los desechos sólidos en Las Lisas-La Barrona son residuos urbanos, desechos flotantes, escombros de la construcción, entre otros, que se reúnen clandestinamente en sitios dentro de los manglares, desechos sólidos que son quemados formándose una superficie plástica que recubre el suelo, representando ello una importante barrera para la conectividad. En los vertederos los residuos están en contacto directo con el suelo y cuando llueve, el agua produce lixiviados al disolver los elementos, tanto orgánicos como inorgánicos, presentes en las basuras que se filtran y pasan a formar parte del suelo. Estas sustancias contaminantes finalmente se incorporan a la cadena trófica y son consumidas por la fauna silvestre, llegando a las aves a través de los peces y moluscos que consumen, a través de la bioacumulación.

En el área de estudio la práctica más común con los residuos sólidos, es la carbonización de los mismos para reducir su volumen, evitar el mal olor e impedir la proliferación de plagas producidas por la descomposición. Esta carbonización de basura genera un humo con gran cantidad de sustancias químicas dañinas para el hombre y contaminantes para el ambiente, entre ellos el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, material particulado, metales pesados, dioxinas y furanos, y el dióxido de carbono, gas de efecto invernadero que causa el cambio climático. Asimismo, la desaparición de la cobertura vegetal del suelo por medio de la quema deja libre a la acción de la erosión de los vientos, empobreciendo el sistema ecológico (Seoáñez, 2000).

El cambio climático, en unión con los anteriores, pueden determinar transformaciones globales y provocar tendencias en el comportamiento de especies muy significativas en estos ambientes estuarinos, por lo que se hace necesario preservar estas comunidades ante los

eventuales cambios futuros. Para ello es imprescindible disponer de una base científica que permita respaldar la adecuación de las estrategias de conservación y gestión de los paisajes receptores (Calabuig, 2013). En relación a las amenazas provocadas por eventos climáticos adversos como en el caso de las marejadas y mareas de fondo, aunque no representa una barrera para la conectividad, el hecho de realizar la instalación de barreras para evitar inundaciones provocadas por la subida del nivel del mar u oleaje extremado, también representa una barrera para la conectividad ecológica.

Son varias las amenazas derivadas del uso de recursos biológicos en el humedal Las Lisas-La Barrona, incluyendo la explotación de especies específicas, la tala de árboles de mangle y recolección de leña y madera, provocando la pérdida de cobertura forestal. El proceso de fragmentación no ocurre al azar, las áreas más accesibles de topografía poco accidentada y con alta productividad, son las primeras en ser alteradas para utilizar las tierras en asentamientos humanos, extracción forestal o agricultura (Navarro, González, Flores, & Amparán, 2015).

En general, las consecuencias de la fragmentación y pérdida de conectividad de los hábitats en la demografía de las aves tanto nativas como migratorias han sido documentadas como resultado y esto se debe a la reducción del suministro de alimento en los bordes de ecosistemas fragmentados, por lo cual la fragmentación se ha considerado típicamente una amenaza para las poblaciones de aves (Robinson, 1998).

En general, la fragmentación de un ecosistema promueve un aumento de las invasión o depredación, alteración del microclima (por ejemplo, asociado con evapotranspiración) y un mayor aislamiento de otras áreas de hábitat similar, así como elevadas tasas de nido-parasitismo, depredación de nidos, competencia con especies foráneas o nativas, y distorsiones en la movilidad y comportamiento trófico, así como la reducción y pérdida de la calidad de los hábitats de crianza, procesos que conducen a afectaciones poblacionales en especies dependientes de ambiente forestal extenso y bien preservado (MacDonald, 2003).

La pérdida de cobertura de manglar conlleva a la pérdida de hábitats para las poblaciones de aves, lo cual está relacionado con la pérdida de servicios ecosistémicos que prestan las costas y los océanos. Estos bienes y servicios son iguales al producto mundial bruto de 27 billones de

dólares anualmente, lo que sugiere que también se pone en riesgo a la sobrevivencia humana (Navarro, et al., 2015).

6.3 Priorizar áreas de importancia para las aves con base en la conectividad y sus amenazas.

Para tomar las mejores decisiones en términos de planificación espacial es necesario considerar aspectos de las especies en cuanto al uso de ecosistemas. Es importante señalar que las especies de escasa movilidad, alto grado de especialización o mayor nivel trófico, serían las más susceptibles a sufrir los efectos negativos de la pérdida de hábitat, el aumento de aislamiento y el incremento de la relación perímetro/superficie. Debido a ello, predecir los efectos de la alteración paisajística sobre grupos de especies y comunidades puede mejorar nuestra capacidad para gestionar el territorio, en términos de su uso y administración de la diversidad biológica presente (García, 2011).

Por otro lado, es importante considerar que para la conservación y ordenamiento espacial es imperativa la definición y selección de parches tipo núcleo, lo cual es parte fundamental del diseño de redes de conectividad, de acuerdo a Colorado, Vásquez y Mazo (2017), quienes los consideraron estratégicos para la conservación del bosque andino de Medellín, Colombia, ya que fue en los parches núcleo donde se reportaron la mayoría de las comunidades, especies y demás recursos naturales de interés para la conservación del bosque andino.

A escala de paisaje, un instrumento valioso para la conservación de la diversidad biológica es el establecimiento de corredores biológicos que fomenten la conectividad y las acciones que permitan detener o contrarrestar la fragmentación de los ecosistemas (Colorado, et al., 2017). Esto adquiere mayor relevancia en paisajes estratégicos como lo son las zonas costeras de alta importancia económica y en donde la intervención antrópica es severa y los bosques y los elementos hídricos se encuentran inmersos en una matriz altamente modificada. En el caso del humedal Las Lisas-La Barrona, en donde cerca del 80% de los fragmentos de bosque presentes tienen una conformación de núcleo, resulta importante señalar que la conectividad está definida por la red hídrica que en este caso aportan los canales estuarinos que son parte del ecosistema manglar, cumpliendo la función de conectar todo el sistema.

La red hídrica conformada por el canal estuarino conocido como Canal de Chiquimulilla es el principal elemento de conectividad ecológica, que en conjunto con los diferentes tipos de parches, conforman un corredor biológico, idea que está articulada con los intereses de conservación a nivel nacional. En particular, retoma las áreas propuestas y definidas por el Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino Costeras, el cual fue ejecutado entre los años 2014 a 2018 por el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo [PNUD] con las agencias de gobierno vinculadas, como uno de los remanentes de bosque de manglar estratégico para mantener la conectividad a escala de paisaje con los bosques de mangle de otras áreas protegidas como los son la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico y Parque Nacional Hawaii, lo cual resalta a este conjunto de áreas como nodos de conservación por su valor en el sostenimiento de poblaciones de aves nativas y con algún grado de amenaza.

Entre todos los elementos de importancia para la conectividad del sistema resaltan los parches de la aldea El Jiote y aldea La Barrona, dado que pueden permitir el flujo de especies y el intercambio genético de los individuos funcionando como continentes o fuente. Por su alta sensibilidad, los parches tipo rama y puente, que son muy estrechos, la transformación de su cobertura puede redundar en la pérdida de la conectividad de varias especies (Bartesagui, 2015). Debido a ello, la implementación de acciones de protección y gestión en estas áreas resulta de gran importancia para mantener los flujos entre parches de ecosistema manglar entre sí y con otros tipos de cobertura con valores bajos de resistencia. En tal sentido, cobra gran relevancia la aplicación de medidas como la Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala (Ley Probosque Decreto número 2-2015) que fomenta la protección y restauración de los manglares desde una visión forestal (Congreso de la República de Guatemala, 2015).

Al tratar de identificar cuáles deberían ser las áreas prioritarias para conservar la conectividad ecológica para las aves acuáticas en el humedal Las Lisas-La Barrona pueden plantearse recomendaciones necesarias para abordar esta necesidad en términos espaciales. En este caso, conociendo ahora el comportamiento de la conectividad del ecosistema manglar presente, es evidente que los parches de ecosistema manglar más importantes para la conectividad deberán

ser los que aportan mayor conectividad al sistema. No obstante, también los resultados podrían sugerir que los parches con funciones estratégicas como un corredor, isla de nucleación o perforación para regeneración natural también deberían ser tomados en cuenta a la hora de manejar este humedal marino costero.

Tal es el caso del fragmento de ecosistema manglar localizado entre la aldea El Ahumado y la aldea Las Lisas, el cual presenta un comportamiento de cuello de botella o “*pinch-points*” por tener el mayor valor de corriente acumulada, lo cual representa una característica relevante que debe ser considerada en las acciones de protección y restauración ecológica. Ya que la pérdida de pequeños sectores del paisaje puede implicar el aislamiento de poblaciones, sectores que resultan de gran relevancia para la conectividad del sistema, porque en ellos se concentra una alta cantidad de flujo.

Por otro lado, el análisis de circuitos indica las opciones de movimientos y conexiones entre parches de hábitat donde estas conexiones o flujos son más robustos a través del paisaje. Estos flujos de corriente a través del paisaje pueden ser utilizados como criterio para identificar áreas importantes para la conectividad especialmente los “*pinch-points*”, o sitios del paisaje donde existe un alto flujo de movimiento, que a su vez son sitios donde se generan cuellos de botella en la corriente o flujo a través del paisaje (McRae, & Shah, 2009). Aquí resalta la importancia de estos “*pinch-points*” ya que el incremento en el flujo de dispersión de individuos puede ser utilizado para definir acciones de conservación, restauración y manejo, dirigidos hacia una planificación, donde se prioricen los sitios con uniones vulnerables, ya que la pérdida de una pequeña porción de estos sitios podría afectar la conectividad del sistema en su totalidad.

A este respecto, es básico señalar que la causa por la que el organismo se desplaza, depende fundamentalmente de tres componentes: (a) los patrones de comportamiento de las especies en sus movimientos; (b) el tamaño y disposición espacial de las manchas en las que las especies desarrollan su ciclo vital; y (c) las características del espacio intersticial entre parches (matriz). Así, el término corredor se ha empleado para definir a un elemento del paisaje, que por sus atributos espaciales y funciones ecológicas puede facilitar desde un punto estructural el movimiento de especies entre dos parches y depende del tipo de movimiento para el que se utilice: dispersión, migración, o de paso, lo cual hace del mismo un concepto dependiente de la escala. Los corredores se diferencian del concepto de enlace (*linkage*), considerando este

concepto para definir a aquel fragmento del territorio que sirve como puente. Esta diferenciación será importante para aterrizar en la escala a la que se propone la gestión del ecosistema manglar de Las Lisas-La Barrona, en donde se adoptan perspectivas de planificación para un corredor biológico, conformado por todos los parches estudiados del sistema (Herrera, & Díaz, 2013).

Siendo los diferentes elementos del ecosistema manglar piezas clave que conforman un corredor biológico, se requiere asegurar la permanencia de las características que conllevan a la conectividad ecológica de este humedal. Esto se puede lograr si se aplican estrategias con diferentes enfoques, pero con un mismo fin, el de mantener la conectividad ecológica a través de proteger la cobertura del ecosistema manglar y evitar la fragmentación. Lo anterior se podrá lograr si se contempla la conservación como base para preservar los procesos ecológicos, el manejo como una manera de planificar el aprovechamiento sostenible y la restauración como una forma activa de aplicar técnicas que disminuyan la fragmentación de los parches de ecosistemas manglar.

Se sugieren una serie de intervenciones como estrategias que apoyen la prevalencia del ecosistema manglar en el área, entre ellas:

Estrategias de conservación

- Considerar el diseño de trayectos de conexión que potencien la conectividad de elementos, materia o energía entre los parches de hábitat. Es decir, potencializar un corredor biológico que minimice el aislamiento y las pérdidas de información abióticas, como la erosión de suelos, o bióticas, como la disminución de la diversidad y abundancia de aves.
- Complementar las herramientas y disposiciones de tipo administrativo con un enfoque de ecología del paisaje, de tal manera que la gestión de los manglares responda al uso sostenible y regulado de los mismos.
- Apoyar el aumento de presencia de autoridades para ordenar el aprovechamiento del manglar y evitar su fragmentación.
- Apoyar su gestión como área bajo algún esquema de manejo y/o su planificación.

- Aprovechar la capacidad instalada de la convención Ramsar, para fortalecer la conservación bajo criterios técnicos aplicables a humedales costeros.
- Determinar científicamente las implicaciones que pueden tener las modificaciones del sistema hídrico, el efecto de borde y la fragmentación de los parches de manglar.
- Definir políticas de desarrollo de infraestructura las cuales busquen mantener la conectividad del ecosistema manglar.
- Incorporar los criterios de conectividad ecológica en los planes de ordenamiento territorial que espacialmente permitan no romper con la dinámica de los procesos ecológicos del humedal.
- Educar a la población sobre la importancia de mantener la conectividad, dependiendo de esta sus funciones y beneficios sociales y ecológicos.

Estrategias de manejo

El aprovechamiento de los manglares es mucho más que solo madera y leña, por lo que es necesario estudiar todos los bienes y servicios ecosistémicos vinculados a este tipo de humedal. Debido a ello, el enfoque debe ser un manejo con fines múltiples, teniendo siempre en cuenta que sin conectividad no hay servicios ecosistémicos, por lo que se necesita aplicar medidas que ordenen los usos actuales y potenciales del área y sugieran las formas de aprovechamiento sostenible del bosque, así como definir los lineamientos para el desarrollo de infraestructura y desarrollos habitacionales.

Se debe promover la conectividad en prácticas silviculturales científicas con conocimiento tradicional, incluyendo el saber de los pobladores que han coevolucionado con los manglares, por lo que su conocimiento ecológico tradicional debe ser aprovechado para mejorar la productividad de los manglares a largo plazo. La participación local es sin duda lo que se debe considerar, partiendo de que son los pobladores quienes asumen, a fin de cuentas, el reto de conservar, proteger un ecosistema que provee servicios, o al contrario, ser indiferentes del valor de un ecosistema (Bravo, Picón, Rodríguez, 2014).

Intervenciones y acciones de manejo para favorecer la conectividad del ecosistema manglar:

- Evitar y remover infraestructura en desuso que represente una barrera para la conectividad, provocando la alteración de los procesos hidrológicos y fragmentación de los parches de manglar.
- Restringir la remoción de la cobertura del suelo (evitando el establecimiento de salineras y acuicultura en áreas con manglar)
- Evitar depositar el material de dragado cerca de los manglares, lo cual podría servir como una barrera y modificar el aporte de agua a los ecosistemas.
- Desarrollo de capacidades técnicas de los pobladores sobre restauración de manglares.

Estrategias de restauración

Las estrategias de restauración del ecosistema manglar del humedal Las Lisas-La Barrona se basan en sus características de conectividad ecológica en cuanto al tipo de parche y su aporte a la conectividad global del sistema.

- En general, la restauración debe consistir principalmente en la reconexión de canales y parches de bosques, remoción de diversos tensores del medio (como infraestructura en desuso), así como aplicar medidas que limiten y dicten las formas de aprovechamiento sostenible del bosque y por otro lado definir los lineamiento para el desarrollo de infraestructura, en el caso de que la misma sea relevante, para así promover la regeneración natural y lograr recuperar no solo la cobertura vegetal sino también los bienes y servicios que este ecosistema costero ofrece sin subsidiar de manera constante al sistema económico.
- Por otro lado es esencial el adiestramiento de autoridades y usuarios de recursos del manglar, orientado a emplear conocimientos generales de hidrología y topografía en la rehabilitación natural de zonas degradadas.
- Provocar el intercambio y sistematización de experiencias sobre recuperación y restauración de manglares que han sido afectados o transformados por actividades humanas o fenómenos naturales.
- Considerar que los parches que aportan bajos niveles de conectividad al sistema, elementos dentro del paisaje deben ser potencializados, lo cual se puede lograr con acciones de restauración y protección a largo plazo.

- Los resultados sugieren considerar como prioritarios los parches núcleo para aplicar estrategias de mayor protección y acciones de restauración ecológica para los parches puente, rama y lazo que son relevantes para conectar parches núcleo entre sí y con otros tipos de parche. Así como favorecer las condiciones de los parches isla, los cuales pueden servir como núcleos de reforestación.
- Siembra (absolutamente necesaria, plantaciones, que busquen condiciones integrales)
- Regeneración asistida y facilitada (regeneración natural insuficiente)
- Aplicación de teorías ecológicas importantes para la aplicación de la restauración como la conectividad ecológica.

Algunas consideraciones para la restauración de los diferentes tipos de parche, se sugieren a continuación (Tabla 8).

Tabla 8

Consideraciones para las acciones de restauración del humedal Las Lisas -La Barrona

Tipo de parche	Función del parche	Consideraciones para su restauración	Porcentaje del total del área de manglar	Área del total del área de manglar (ha)
Núcleo: área interior excluyendo el perímetro.	Área interior excluyendo el perímetro, perforaciones, puentes y lazos. Asegurar el abastecimiento y flujo constante de especies. Provee genes a todo el sistema.	Asegurar el abastecimiento de agua dulce, eliminación de los factores que provocan las afectaciones (incendios, tala inmoderada, cambio del uso del suelo) por parte de las autoridades competentes.	80.94%	1137.93
Borde: perímetro externo del objeto.	Su función es el amortiguamiento del efecto de borde.	Promover la regeneración natural. Evaluar la posibilidad de que los propágulos o semillas lleguen a los sitios de restauración, mediante su seguimiento o monitoreo. Si no existen posibilidades de llegada de propágulos se debe proceder a la siembra de mangle, siempre	11.66%	163.93

Tipo de parche	Función del parche	Consideraciones para su restauración	Porcentaje del total del área de manglar	Área del total del área de manglar (ha)
		y cuando las condiciones ecológicas originales hayan experimentado un proceso de recuperación según el área de interés.		
Perforación: perímetro interno del objeto.	Espacios con microhábitats dinámicos para la sucesión vegetal, en donde se da la regeneración natural.	Al estar estos parches inmersos en los parches núcleo lo conveniente es promover la regeneración natural, que se ve favorecida por la incidencia de iluminación cuando el dosel lo permite. Por otro lado, asegurar que el régimen hidrológico permita la regeneración. Las perforaciones en el mosaico también representan una alta frecuencia, sin embargo estas cubren una cobertura poco significativa	3.59%	50.47
Rama:	Enlaces que conectan los núcleos parches adyacentes	La superficie de las ramas, cumplen una función estratégica para los parches núcleos, fragmentos que hacen ruta de intercambio entre los parches núcleo o las masas forestales principales, como la comunidad La Barrona y Las Lisas. Se debe promover la restauración ecológica, favoreciendo que las semillas y propágulos lleguen a las ramas. Remoción de barreras físicas que afectan el flujo de agua.	1.49%	20.95
Lazo: conectado a la misma área del núcleo.	Refuerzo interno de la matriz de paisaje.	Promover la regeneración natural. Evaluar la posibilidad de que los propágulos o semillas lleguen a los sitios de restauración, mediante su seguimiento o monitoreo. Si no existen posibilidades de llegada de propágulos se debe proceder a la siembra de mangle, siempre	0.99%	13.92

Tipo de parche	Función del parche	Consideraciones para su restauración	Porcentaje del total del área de manglar	Área del total del área de manglar (ha)
		y cuando las condiciones ecológicas originales hayan experimentado un proceso de recuperación según el área de interés.		
Puente: conectado a diferentes áreas del núcleo.	Conectado a diferentes áreas del núcleo, funcionan como corredores.	Remoción de tensores del medio (infraestructura, proyectos agropecuarios, otros) para permitir la persistencia de los parches tipo puente y favorecer su funcionalidad. Como estos parches están en la periferia de los parches núcleo es necesario iniciar el trasplante de plántulas provenientes de la regeneración natural del mangle, tomadas de los sitios donde su abundancia y densidad son elevadas, o producidas en viveros que se deben establecer para este fin. Es importante tener en cuenta es el relacionado con la tolerancia de cada especie de mangle a las condiciones del entorno, en este caso al nivel del agua en marea alta y la salinidad intersticial.	0.81%	11.39
Isla: islote disjunto demasiado pequeño para contener núcleo.	Islas de nucleación natural.	Utilizar este tipo de parches como islas de nucleación para la regeneración natural.	0.52%	7.31

Fuente: Basado en Lewis, & Brown , 2014.

Aplicabilidad de la información

Desde la visión del cuarto Plan Estratégico de Ramsar (2016-2024) del Convenio relativo a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención de Ramsar, 2014), la conectividad ecológica es un aspecto fundamental para esta iniciativa. Bajo esta perspectiva, la información generada del presente estudio contribuye al

conocimiento de la conectividad, y sugiere acciones para el mantenimiento de la misma para el ecosistema manglar de Las Lisas-La Barrona, lo cual es un aporte al proceso de designación como sitio Ramsar, cuyo proceso está en marcha.

Por otro lado, la iniciativa que promovió el PNUD (2014) en la cual se realizó la gestión del humedal Las Lisas-La Barrona, pudo utilizar la información generada en la presente investigación para la definición de la zonificación del área y definir las medidas y usos de la matriz interna de manglar y zonas de adyacencia, cuya implementación contribuirá al mantenimiento de la conectividad del paisaje entorno al sistema de áreas protegidas marino costeras para el Pacífico, lo cual es una iniciativa de gran importancia para las zonas marino costeras nacionales.

Las sugerencias que se presentan son aportes que pueden complementar cualquier análisis o propuesta de ordenamiento territorial que pretenda fomentar el uso sostenible de los servicios ambientales del humedal. En este contexto el conocimiento de los efectos de sinergia producidos por actividades extractivas o diferentes debería ser prioritario al desarrollo práctico de cualquier plan general territorial o política de desarrollo. La no consideración de este parámetro, implicaría la sobreexplotación de la calidad paisajística, con pérdidas irremediables de manera permanente (Calabuig, 2013).

7. Conclusiones

- Con respecto a la conectividad estructural, los parches mejor representados con respecto a su área son de tipo núcleo, a ellos le siguen por orden descendente las zonas de tipo borde, los tipo perforación, los parches tipo rama, los parches tipo lazo, los parches tipo puente y los parches tipo isla.
- Entre las fuentes de presión que promueven las amenazas para el ecosistema manglar y las aves que dependen de este en Las Lisas-La Barrona, se encuentran, el desarrollo residencial y comercial, agricultura y acuicultura, producción de energía y minería, corredores de transporte y servicios, uso de los recursos biológicos, modificaciones del sistema natural, contaminación y eventos geológicos.
- Los parches con mayor aporte a la conectividad del sistema se encuentran en La Barrona, El Jiote, y el Canal de Chiquimulilla, disminuyendo en importancia hacia Las Lisas y El Chapetón. Los parches de manglar de las comunidades de El Ahumado y El Chapetón dan un menor aporte a la conectividad, siendo formaciones vegetales poco densas ubicadas en la orilla del canal.
- El principal elemento de conectividad del humedal Las Lisas-La Barrona es el Canal de Chiquimulilla, siendo este la red hídrica que atraviesa y conecta todo el sistema, ya que presenta los mayores valores de conectividad *intra*, *flux* y *connector*. Este, en conjunto con los diferentes tipos de parches, conforma un corredor, funcionando como el elemento principal del flujo de especies de aves que se dispersan 5 y 10 km.
- Los parches de manglar tipo puente, lazo, rama y borde, también hacen posible mantener una ruta de intercambio entre los parches núcleo, de manera que estas unidades de paisaje son relevantes y deben ser consideradas por cualquier proyecto de conservación en la zona como potenciales piezas estratégicas de un corredor biológico.

- El fragmento de ecosistema manglar localizado entre la aldea el Ahumado y la aldea Las Lisas, constituye un cuello de botella en el flujo a través del paisaje, por lo que se considera una zona de alta sensibilidad, dado que es muy estrecha y si se modificara el ecosistema impactaría con la pérdida de conectividad para las especies de aves.
- Al menos 96 especies de aves pueden verse afectadas por la pérdida de conectividad del manglar del humedal Las Lisas-La Barrona, pero principalmente algunos grupos funcionales que tienen requerimientos de hábitat relacionados con la reproducción y las que tienen una alta dependencia hacia el ecosistema manglar.

8. Recomendaciones

- Es fundamental resaltar la necesidad de considerar que los parches que aportan bajos niveles de conectividad al sistema deben también ser manejados, teniendo en cuenta que los elementos dentro del paisaje deben ser potencializados, lo cual se puede lograr con acciones de restauración y protección a largo plazo, que de manera práctica intente llevar el ecosistema manglar de Las Lisas-La Barrona a condiciones de estructura y funcionamiento de humedales costeros saludables. Ello será fundamental para favorecer el suministro de los servicios ambientales de esta zona costera hacia los usuarios de la misma.
- Incluir en las herramientas de manejo y, en especial, en los planes de ordenamiento territorial, regulaciones en cuanto a la modificación de la cobertura vegetal, limitar el número de edificaciones, manejar adecuadamente los desechos sólidos, mejorar la protección de los manglares con miras a fomentar sus servicios de protección costera y limitar las actividades de extracción de materiales del humedal que fomenten la sedimentación y modificación de los cursos de agua del Canal de Chiquimulilla y sus afluentes.
- Las áreas prioritarias para la conectividad de los manglares identificadas en este estudio, deben incluirse en las políticas públicas estatales y municipales, siendo necesario que las autoridades se apeguen estrictamente a las leyes relacionadas con los procesos de autorización e inspección de arrendamientos que se dispongan sobre la zona costera en áreas de reserva del estado. Asimismo, es necesario establecer programas de conservación, manejo y restauración de los manglares ya afectados o expuestos a impactos, que estén basados en la mejor información científica disponible, y que cuenten con el respaldo administrativo y compromiso de los diferentes niveles de gobierno y de todos los actores involucrados.

9. Referencias bibliográficas

- Aguilar Vásquez, Y., Aliphath, M., Caso, L., Amo, S. del, Sánchez, M., & Martínez-Carrera, D. (2014). Impacto de las unidades de selva manejada tradicionalmente en la conectividad del paisaje de la Sierra de Los Tuxtlas, México. *Revista Biología Tropical*, 62 (3), 1099-1109.
- Alonzo-F., M., Finegan, B., Brenes, C., Gunter, S., & Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador. *Caldasia*, 39 (1), 143-156.
- Bartesaghi, M. (2015). *Fragmentación y conectividad del paisaje costero para vertebrados e invertebrados prioritarios para la conservación*. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad de la República de Uruguay.
- Bennet, A. F. (1998). *Linkages in the landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. Gland, Suiza: International Union for Conservation of Nature [IUCN].
- Bennett, N., Tehd, L., Otad, Y., Christieb, P., Ayersf, A., Dayg, J., & Satterfielda, T. (2017). An appeal for a code of conduct for marine conservation. *Marine Policy*, 81, 411–418.
- Blanco Rodríguez, P., & Sánchez Oria, B. (2002). *Importancia de los manglares cubanos para la ornitofauna en ecosistemas de manglar en el archipiélago cubano*. Cuba: Editorial Academia.
- Boix, L., Rinze, M., García, J., Montiel, A., & Ortiz, C. (2011). *Elementos para contribuir a la gestión integrada de zonas costeras del Pacífico de Guatemala (Informe final 2011-27)*. Guatemala: Dirección General de Investigación [DIGI], Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].
- Bowman, J., Cappuccino, N., & Fahrig, L. (2002). Patch size and population density: The effect of immigration behavior [en línea]. *Conservation Ecology* 6 (1), 9. Recuperado abril 16, 2018, de <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art9/>
- Bravo Chacón, J., Picón Cruz, J., Rodríguez Quirós, R. (2014). Fragmentación del bosque de manglar ante el desarrollo turístico del Pacífico norte costarricense: Estudio de caso. *Revista Geográfica de América Central*, (52), 103-116.
- Calabuig, E. (2013). Corredores, conectividad y ecología del paisaje. *Dossier Ciudades*, 1 (2013), 29 – 42.

- Canterbury, G. E., Martin, T. E., Petit, R., Petit, L. J., & Bradford, D. F. (2000). Bird communities and habitat as ecological indicators of forest condition in regional. *Monitoring Conservation Biology*, 14, 544-558.
- Colorado Zuluaga, G., Vásquez Muñoz, J., & Mazo Zuluaga, I. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22 (3), 379-393.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2011). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de estado Volumen I, Sección VII* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de https://www.researchgate.net/publication/280319743_Impacto_de_la_agricultura_sobre_la_biodiversidad
- Congreso de la República de Guatemala. (2015). *Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala (Probosque): Decreto número 2-2015*. Guatemala: Autor.
- Convención de Ramsar. (2014). *Cuarto plan estratégico de Ramsar (2016-2024): Convenio relativo a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas*. Suiza: Autor.
- Convención de Ramsar. (2016). *Misión de la convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convenci%C3%B3n-de-ramsar-y-su-misi%C3%B3n>
- Convención sobre la Diversidad Biológica. (2010). *X/2: El plan estratégico para la diversidad biológica 2011-2020 y las metas de Aichi para la diversidad biológica*. Suiza: UNEP/CBD/COP/10/27/Add.1.
- Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R. de, Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Croteau, E. K. (2010). Causes and consequences of dispersal in plants and animals. *Nature Education Knowledge*, 3 (10), 12.
- Dávila, V., García, M. J., & López, A. (2014). *Utilidad de la biodiversidad como indicador de sostenibilidad para la evaluación de la calidad ambiental de la costa Este del Pacífico de Guatemala (Informe final)*. Guatemala: DIGI, Centro de Estudios Conservacionistas [Cecon], USAC.

- Delgado, J., Arévalo, J., & Fernández-Palacios, J. (2004). Consecuencias de la fragmentación viaria: Efectos de borde de las carreteras en la Laurisilva y el Pinar de Tenerife. En Fernández-Palacios J.M. & Morici C. (Ed.), *Ecología Insular* (pp.181-225). Tenerife, España: Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET).
- Edgar, G. J., Russ, G. R., & Babcock, R. C. (2007). *Marine protected areas: Marine ecology*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Eisermann, K., & Avendaño, C. (2007). *Áreas propuestas para la designación como IBA (Área importante para la conservación de aves) en Guatemala, con una priorización para la conservación adentro de las IBAs y una evaluación de las IBAs para aves migratorias Neárticas-Neotropicales*. Guatemala: Sociedad Guatemalteca de Ornitología, y Bird Life International.
- Engelhard, S., Huijbers, C., Stewart-Koster, B., Olds, A., Schlacher, T., & Connolly, R. (2016). Prioritising seascape connectivity in conservation using network analysis. *Journal of Applied Ecology*, 54 (4), 1130-1141.
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2016). *ArC Map 10.6* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>
- European Commission. (2018). *Morphological spatial pattern analysis* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de <http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos/mspa/>
- European Space Agency (ESA). (2017). *Satellite image sentinel 2* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3
- Feller, I., Lovelock, C., Berger, U., McKee, K., Joye, S., & Ball, M. (2010). Biocomplexity in mangrove ecosystems. *Marine Science*, 2, 395-417.
- Fernandez-Arcaya, U., Ramirez-Llodra, E., Aguzzi, J., Allcock, A. L., Davies, J. S., Dissanayake, A., et al. (2017). Ecological role of submarine canyons and need for canyon conservation: A review. *Frontiers in Marine Science*, (4), 5.
- García Chacón, P., Taracena, J., Marroquín, E., & Aceituno Pozuelos, E. (2000). *Bases ecológicas de las funcionalidades del ecosistema manglar del Pacífico de Guatemala: (Informe final)*. Guatemala: USAC, DIGI, y Centro de Estudios del Mar y Acuicultura [CEMA].
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: Nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20 (2-3), 1-10.

- García, J., González, M., Marcos, C., Esparza, O., Félix-Hackradt, F., Hackradt, C., Treviño, J., & Pérez, A. (2008). *Áreas protegidas y conectividad en el medio marino*. España: Universidad de Murcia, y Departamento de Ecología e Hidrología.
- Godoy, J. C. (1980). *Distribución, composición florística y análisis estructural del manglar Las Lisas*. Tesis Licenciatura en Biología. Guatemala: USAC.
- Gómez, M. A. (1980). *Estudio de la regeneración natural pre-existente en el manglar Las Lisas*. Tesis licenciatura en Biología. Guatemala: USAC.
- Guerrero, E., Keizer, O. de, & Córdoba, R. (2006). *La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos*. Quito, Ecuador: UICN.
- Gurrutxaga, M., & Lozano Valencia, P. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos Revista de Geografía*, 16 (2006), 35-54.
- Herrera Calvo, P., & Díaz Varela, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. *DOSSIER Ciudades*, (1), 43 – 70.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [Insivumeh]. (2017). *Zonas climáticas de Guatemala: Planicie costera del Pacífico de Guatemala* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
- International Union for Conservation of Nature [IUCN]. (2018). *The IUCN red list of threatened species: Version 2017-3*. Recuperado junio 21, 2018, de <http://www.iucnredlist.org/>
- Isasi Catalá, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: Su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, 36 (1), 31-38.
- Jordano, P. (2017). What is long-distance dispersal? And a taxonomy of dispersal events. *Journal of Ecology*, 105, 75–84.
- Komar, O., Rodríguez, W., & Dueñas, C. (1997). Notas sobre las aves de los bosques de manglar de la Bahía de la Unión, y una nueva especie de carpintero *Pocoides* para el Salvador. *Cotinga*, 7, 16-17.
- Landgravel, R. & Moreno-Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación Ambiental*, 4 (1), 19-35.

- Lefebvre, G., Poullin, B., & McNeil, R. (1991). Settlement period and function of long-term territory in tropical mangrove passerines. *Condor*, 94, 83-92.
- Lewis, R., & Brown, B. (2014). *Rehabilitación ecológica del manglar: Manual de campo para rehabilitadores*. Indonesia: Agencia para el Desarrollo Internacional de Canadá [CIDA].
- López López, J., Morales, A. S., Soberanis, H., & Ramírez, M. F. (2016). *Restauración ecológica participativa del ecosistema de manglar en la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico (Informe final 35-2016)*. Guatemala: DIGI, y USAC.
- López, J. (2011). *Caracterización de los sitios de nidificación de aves acuáticas del orden Ciconiiformes en la costa del Pacífico de Guatemala*. Tesis Licenciatura en biología. Guatemala: USAC.
- MacArthur, R. H., & Wilson, E. O. (1967). *The theory of island biogeography*. New Jersey: Princeton Univ. Press.
- MacDonald, M. A. (2003). The role of corridors in biodiversity conservation in production forest landscapes: A literature review forestry Tasmania. *Tasforests*, 14, 41 -52.
- McRae, B. H., Shas, V. B., & Mohapatra, T. K. (2013). *Circuitscape 4: User guide*. United States: The Nature Conservancy.
- Merken, R., Deboelpaep, E., Teunen, J., Saura, S., & Koedam, N. (2015). Wetland suitability and connectivity for Trans-Saharan migratory waterbirds. *PLoS ONE*, 10 (8), 41-52.
- National Council for Air and Stream Improvement [NCASI]. (2004a). *Nature Serve EO Specs: Separation distance for animals*. United States: Nature Serve.
- National Council for Air and Stream Improvement [NCASI]. (2004b). *Managing elements of biodiversity in sustainable forestry programs: Status and utility of Nature Serve's information resources to forest managers: Technical bulletin no. 885*. United States: Nature Serve.
- Nature Serve Network (2018). *Rules and methods* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de <http://www.natureserve.org/es/conservation-tools>
- Navarrete-Ramírez, S. M. (2014). *Protocolo indicador riqueza de aves acuáticas: Indicadores de monitoreo biológico del subsistema de áreas marinas protegidas (SAMP) / Serie de Publicaciones Generales No. 71*. Santa Marta, Colombia: Invenmar.

- Navarro Rodríguez, M., González Guevara, L., Flores Vargas, R., & Amparán Salido, R. (2015). *Fragmentación y sus implicaciones: Análisis y reflexión documental*. México: Universidad de Guadalajara.
- Nguyen, H. (2012). *Bird composition as an ecological indicator of forest disturbance levels*. United States: Department of Biology University of Texas.
- Ogden, C., Baldwin, J., Bass, O., Browder, J., Cook, M., Frederick, P., ... Lorenz, J. (2014). Waterbirds as indicators of ecosystem health in the coastal marine habitats of Southern Florida: 2 / Conceptual ecological models. *Ecological Indicators*, 44, 128–147.
- Olds, A., Pitt, K., Maxwell, P., & Connolly, R. (2012). Synergistic effects of reserves and connectivity on ecological resilience. *Australian Journal of Applied Ecology*, 49, 1195–1203.
- Pascual Hortal, L., Vega García, C., & Saura Martínez de Toda, S. (s. f.). *Metodología para la incorporación de la conectividad de los bosques en la planificación y ordenación forestal en escalas amplias*. España: ETSEA.
- Pascual, L., & Saura, S. (2008). Integración de la conectividad ecológica de los bosques en los instrumentos de planificación forestal a escala comarcal y regional. *Revista Divulgación*, 94, 31-37.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21 (7), 959-967.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2017). *Estudio Técnico del Área de Uso Múltiple Marino Costera Las Lisas*. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino Costeras (APMs). Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD].
- PNUD. (2014). *Documento de proyecto: “Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en áreas protegidas marino costeras”* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de http://www.gt.undp.org/content/dam/guatemala/docs/prodocs/undp_gt_marino.pdf
- Ramírez, A. (2000). Utilidad de las aves como indicadores de la riqueza específica regional de otros taxones. *Ardeola*, 47 (2), 221-226.
- Ramsar Convention Secretariat (2010). *Designating Ramsar sites: Strategic framework and guidelines for the future development of the list of Wetlands of international*

- importance*, Ramsar handbooks for the wise use of wetlands. (4th ed.). Gland, Switzerland: Autor.
- Robinson, S. K. (1998). Another threat posed by forest fragmentation: Reduced food supply. *The Auk*, 115, 1-3.
- Rodríguez-Valencia, J. A. (2007). *La conectividad demográfica y el diseño de redes de áreas de conservación en el Golfo de California* [en línea]. Recuperado abril 16, 2018, de <http://www.wwf.org.mx/wwfmex/publicaciones.php?tipo=reprs>
- Rose, A. (2013). Systematic comparison of two habitat connectivity modeling approaches: Least cost path and circuit theory. United States: Tiger Pints.
- Rubio, L., Rodríguez-Freire, M., Mateo-Sánchez, M. C., Estreguil, C., & Saura, S. (2012). Sustaining forest landscape connectivity under different landcover change scenarios. *Forest Systems*, 21 (2), 223-235.
- Salafsky, N., Salzer, D., Stattersfield, A., Hilton-Taylor, C., Neugarten, R., Butchart, ... & Dwilkie, D. A. (2008). *Standard lexicon for biodiversity conservation: Unified classifications of threats and actions*. United States: Society for Conservation Biology. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00937.x
- Salazar, C., & Sigüenza, R. (2010). *Modelos ecológicos conceptuales en humedales guatemaltecos como herramienta para evaluar los efectos potenciales de las actividades humanas sobre poblaciones de aves acuáticas y su hábitat (Informe final Proyecto Fodecyt 06-2009)*. Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONCYT].
- Sanchez-Paez, H., Ulloa-Delgado, G., & Álvarez-León, R. (1998). *Conservación y uso sostenible de los manglares del Caribe colombiano: Proyecto pd/171/91 Rev 2 (f) fase II, etapa I*. Colombia: Ministerio de Ambiente Perú.
- Santos, T., & Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: Efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15 (2), 3-12.
- Saura, S., & Rubio, L. (2009). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33, 523-537.
- Saura, S., & Torné, J. (2012). Conefor 2.6: User manual quantifying the importance of habitat patches and links for maintaining or enhancing landscape connectivity through spatial

- graphs and habitat availability (reachability) metrics. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Saura, S., & Torné, J. (2009). Conefor sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, 24, 135-139.
- Sebastián-González, E., Botella, F., & Sánchez-Zapata, J. (2013). Patrones, procesos y conservación de comunidades: El caso de las aves acuáticas en humedales artificiales. *Revista Catalana de Ornitología*, 29, 75-92.
- Seoánez Calvo, M. (2000). *Residuos: Problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Soille, P., & Vogt, P. (2008). Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters*, 30 (4), 456-459.
- Stephens, S. E., Koons, D. N., Rotella, J. J. & Willey, D. W. (2003). Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: A review of the evidence at multiple spatial scales. *Biological Conservation*, 115, 101-110.
- Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, (68), 571-573.
- van den Belt, M., & Cole, A. (2014). Ecosystem goods and services in marine protected areas (MPAs). *Science for Conservation, monograph 326*, New Zealand: Department of Conservation Te Papa Atawhai.
- Vila Subirós, J., Varga Linde, D., Llausàs Pascual, A., & Ribas Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology): Una interpretación desde la geografía. *Anales de Geografía*, (48), 151-166.
- Vogt, P., & Riitters, K. (2017). Guidos toolbox: Universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50, (1), 352-361.
- Vogt, P. (2013). Guidos: Tools for the assessment of pattern, connectivity, and fragmentation. *Geophysical Research Abstracts*, (15), 22-28.
- Watson, J., Hays, G., Raimondi, P., Mitarai, S., Dong, C., McWilliams, J., ... Siegel, D. (2011). Currents connecting communities: Nearshore community similarity and ocean circulation. *Ecological Society of America Ecology*, 92 (6), 1193–1200.

10. Anexo

No.	Familia	Especie	nombre vernáculo	Estatus	Autor (es)
1	Accipitridae	<i>Buteogallus anthracinus</i>	gavilán	Residente	2, 4
2	Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>		Residente	2
3	Alcedinidae	<i>Megaceryle alcyon</i>	Martín pescador grande	Migratorio	2, 4
4	Alcedinidae	<i>Chloroceryle aenea</i>	Martín pescador	Residente	2
5	Alcedinidae	<i>Chloroceryle amazona</i>	Martín pescador	Residente	2
6	Alcedinidae	<i>Chloroceryle americana</i>	Martín pescador	Residente	2, 4
7	Alcedinidae	<i>Megaceryle torquata</i>	Martín pescador	Residente	2
8	Anatidae	<i>Anas acuta</i>	Pato	Migratorio	1
9	Anatidae	<i>Anas americana</i>	Pato	Migratorio	1
10	Anatidae	<i>Anas clypeata</i>	Pato	Migratorio	1
11	Anatidae	<i>Anas crecca</i>	Pato	Migratorio	1
12	Anatidae	<i>Anas Cyanoptera</i>	Pato	Migratorio	1
13	Anatidae	<i>Anas discor</i>	Pato	Migratorio	1, 2, 4
14	Anatidae	<i>Aythya affinis</i>	Pato	Migratorio	1
15	Anatidae	<i>Aythya americana</i>	Pato	Migratorio	1
16	Anatidae	<i>Cairina moschata</i>	Pato	Migratorio	1
17	Anatidae	<i>Dendrocygna bicolor</i>	Pato	Migratorio	1
18	Anatidae	<i>Oxyura jamaicensis</i>	Pato	Migratorio	1
19	Anatidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Pijije	Residente	1, 2
20	Anhingidae	<i>Anhinga anhinga</i>	Pato aguja	Residente	1, 2
21	Aramidae	<i>Aramus guarauna</i>		Residente	1, 2
22	Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Garza	Migratorio	1, 2, 4
23	Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	Garzón blanco	Residente	1, 2, 4
24	Ardeidae	<i>Ardea herodias</i>	Garzón gris	Residente	1, 2, 4
25	Ardeidae	<i>Botaurus lentiginosus</i>	Garza de manglar	Residente	4
26	Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza del ganado	Residente	1, 2
27	Ardeidae	<i>Butorides virescens</i>	Garza verde	Residente	1, 4
28	Ardeidae	<i>Cochlearius cochlearius</i>	Pico de zapato	Residente	1, 2, 4
29	Ardeidae	<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	Residente	1, 2, 4
30	Ardeidae	<i>Egretta rufescens</i>	Garza rojiza	Residente	1
31	Ardeidae	<i>Egretta thula</i>	Garza dedos de oro	Residente	1, 2, 3, 4
32	Ardeidae	<i>Egretta tricolor</i>	Garza tricolor	Residente	1, 2, 4
33	Ardeidae	<i>Nyctanassa violacea</i>	Garza nocturna	Residente	1, 2, 4
34	Ardeidae	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Garza tigre	Residente	1, 2, 4
35	Burhinidae	<i>Burhinus bistriatus</i>	Peterete	Residente	4
36	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Viuda	Residente	2, 4
37	Cathartidae	<i>Coragyps attratus</i>	Sope	Residente	2, 4
38	Charadriidae	<i>Pluvialis dominica</i>	Chorlito	Migratorio	4
39	Charadriidae	<i>Pluvialis squatarola</i>	Chorlito	Migratorio	1, 2
40	Ciconiidae	<i>Jabiru mycteria</i>	Jabiru	Migratorio	1
41	Ciconiidae	<i>Mycteria americana</i>	cigueñon	Migratorio	1, 2, 4
42	Columbidae	<i>Columba livia</i>	Paloma	Residente	2
43	Columbidae	<i>Columbina inca</i>	tortolita	Residente	2, 4
44	Columbidae	<i>Patagioenas flavirostris</i>	Paloma	Residente	2

No.	Familia	Especie	nombre vernáculo	Estatus	Autor (es)
45	Columbidae	<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma aliblanca	Residente	2
46	Corvidae	<i>Cyanocorax formosus</i>	Urraca	Residente	4
47	Corvidae	<i>Cyanocorax morio</i>	Urraca café	Residente	4
48	Cracidae	<i>Ortalis leucogastra</i>	Chachalaca	Residente	2
49	Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Pijui	Residente	2
50	Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	Pajaro ardilla	Residente	2
51	Falconidae	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Migratorio	2, 4
52	Falconidae	<i>Caracara cheriway</i>	Quebrantahuesos	Residente	2
53	Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata	Residente	1, 4
54	Haematopodidae	<i>Haematopus palliatus</i>	Soldadito	Migratorio	1
55	Heliornithidae	<i>Heliornis fulica</i>		Migratorio	1
56	Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrinas	Migratorio	2, 4
57	Hirundinidae	<i>Progne chalybea</i>	Golondrina	Residente	2
58	Hirundinidae	<i>Tachycineta albilinea</i>	Golondrinas	Residente	2, 4
59	Icteridae	<i>Icterus gularis</i>	Chorcha	Migratorio	2
60	Icteridae	<i>Quicalus mexicanus</i>	Zanate	Residente	2, 4
61	Jacanidae	<i>Jacana spinosa</i>	Jacana	Residente	1, 2
62	Laridae	<i>Hydroprogne caspia</i>	Caspian tern	Migratorio	2, 4
63	Laridae	<i>Larus argentatus</i>	Gaviota	Migratorio	1
64	Laridae	<i>Larus atricilla</i>	Gaviota	Migratorio	1
65	Laridae	<i>Larus delawarensis</i>	Gaviota	Migratorio	1
66	Laridae	<i>Larus heermanni</i>	Gaviota	Migratorio	1
67	Laridae	<i>Larus pipixcan</i>	Gaviota	Migratorio	1
68	Laridae	<i>Laterallus ruber</i>	Gaviota	Migratorio	1
69	Laridae	<i>Leucophaeus atricilla</i>	Gaviota	Migratorio	2, 4
70	Laridae	<i>Sterna antillarum</i>	Gaviota	Migratorio	1
71	Laridae	<i>Sterna caspia</i>	Gaviota	Migratorio	1
72	Laridae	<i>Sterna elegans</i>	Gaviota	Migratorio	1
73	Laridae	<i>Sterna forsteri</i>	Gaviota	Migratorio	1
74	Laridae	<i>Sterna fuscata</i>	Gaviota	Migratorio	1
75	Laridae	<i>Sterna hirundo</i>	Gaviota	Migratorio	1, 2
76	Laridae	<i>Sterna maxima</i>	Gaviota	Migratorio	1
77	Laridae	<i>Sterna nilotica</i>	Gaviota	Migratorio	1
78	Laridae	<i>Sterna paradisaea</i>	Gaviota	Migratorio	1
79	Laridae	<i>Sterna sandvicensis</i>	Gaviota	Migratorio	1
80	Laridae	<i>Thalasseus elegans</i>	Gaviota	Migratorio	4
81	Laridae	<i>Thalasseus maximus</i>	Royal Tern	Migratorio	2, 4
82	Laridae	<i>Xema sabini</i>	Gaviota	Migratorio	1
83	Pandionidae	<i>Pandion haliaetus</i>	Osprey	Migratorio	2, 3, 4
84	Parulidae	<i>Parkesia noveboracensis</i>	Chipe de agua	Migratorio	4
85	Parulidae	<i>Seiurus novaeboracensis</i>	Señorita de manglar	Migratorio	2
86	Parulidae	<i>Setophaga ruticilla</i>	American redstar	Migratorio	1
87	Parulidae	<i>Setophaga petechia</i>	Chipe de manglar	Residente	2, 4
88	Pelecanidae	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	Pelicano blanco	Migratorio	2
89	Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelicano café	Migratorio	1, 2, 3, 4
90	Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormoran	Residente	1, 2, 3, 4
91	Picidae	<i>Centurus aurifrons</i>	Cheje	Residente	4
92	Picidae	<i>Dryocopus lineatus</i>	Carpintero	Residente	2
93	Picidae	<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero	Residente	4

No.	Familia	Especie	nombre vernáculo	Estatus	Autor (es)
94	Picidae	<i>Melanerpes aurifrons</i>	Carpintero	Residente	2
95	Podicipedidae	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Pato	Migratorio	1, 2
96	Podicipedidae	<i>Podilymbus podiceps</i>	Zambullidor pequeño	Residente	1
97	Psittacidae	<i>Amazona albifrons</i>	Loro frente blanca	Residente	2
98	Psittacidae	<i>Eupsittula canicularis</i>	Pericas	Residente	2, 4
99	Rallidae	<i>Porphyrio martinica</i>	Polla azul	Migratorio	1
100	Rallidae	<i>Porzana carolina</i>	Polluela	Migratorio	1
101	Rallidae	<i>Aramides axillaris</i>	Aramides	Residente	1
102	Rallidae	<i>Aramides cajanea</i>	Aramides	Residente	1, 2
103	Rallidae	<i>Fulica americana</i>	Fulica	Residente	1
104	Rallidae	<i>Gallinula chloropus</i>		Residente	1
105	Recurvirostridae	<i>Recurvirostra americana</i>	Avoceta americana	Migratorio	1
106	Recurvirostridae	<i>Himantopus mexicanus</i>	soldadito	Residente	1, 2, 3, 4
107	Rynchopidae	<i>Rynchops niger</i>	Rayador	Migratorio	1
108	Scolopacidae	<i>Actitis macularius</i>	Alzacolita	Migratorio	1, 2, 4
109	Scolopacidae	<i>Aphriza virgata</i>		Migratorio	1
110	Scolopacidae	<i>Arenaria interpres</i>	Playero	Migratorio	1, 2
111	Scolopacidae	<i>Bartramia longicauda</i>		Migratorio	1
112	Scolopacidae	<i>Calidris alba</i>	Calidris	Migratorio	1, 2, 4
113	Scolopacidae	<i>Calidris alpina</i>	Calidris	Migratorio	1
114	Scolopacidae	<i>Calidris bairdii</i>	Calidris	Migratorio	1
115	Scolopacidae	<i>Calidris canutus</i>	Calidris	Migratorio	1, 4
116	Scolopacidae	<i>Calidris fuscicollis</i>	Calidris	Migratorio	1
117	Scolopacidae	<i>Calidris himantopus</i>	Calidris	Migratorio	1
118	Scolopacidae	<i>Calidris mauri</i>	Calidris	Migratorio	1
119	Scolopacidae	<i>Calidris melanotos</i>	Calidris	Migratorio	1
120	Scolopacidae	<i>Calidris minutilla</i>	Calidris	Migratorio	1
121	Scolopacidae	<i>Calidris pusilla</i>	Calidris	Migratorio	1
122	Scolopacidae	<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>		Migratorio	1
123	Scolopacidae	<i>Charadrius alexandrinus</i>		Migratorio	1
124	Scolopacidae	<i>Charadrius collaris</i>		Migratorio	1
125	Scolopacidae	<i>Charadrius melodus</i>	Playero	Migratorio	4
126	Scolopacidae	<i>Charadrius semipalmatus</i>	Playero	Migratorio	1, 2, 3, 4
127	Scolopacidae	<i>Charadrius vociferus</i>		Migratorio	1
128	Scolopacidae	<i>Charadrius wilsonia</i>		Migratorio	1
129	Scolopacidae	<i>Heterocelus incanus</i>		Migratorio	1
130	Scolopacidae	<i>Limnodromus griseus</i>		Migratorio	1
131	Scolopacidae	<i>Limosa fedoa</i>	Aguja canela	Migratorio	1, 4
132	Scolopacidae	<i>Limosa haemastica</i>	aguja café	Migratorio	1, 4
133	Scolopacidae	<i>Numenius americanus</i>		Migratorio	1
134	Scolopacidae	<i>Numenius phaeopus</i>	Wrimbrel	Migratorio	1, 2, 3, 4
135	Scolopacidae	<i>Phalaropus fulicarius</i>	Phalaropo	Migratorio	1
136	Scolopacidae	<i>Phalaropus lobatus</i>	Phalaropo	Migratorio	1
137	Scolopacidae	<i>Philomachus pugnax</i>		Migratorio	1
138	Scolopacidae	<i>Tringa flavipes</i>	Tringa	Migratorio	1
139	Scolopacidae	<i>Tringa melanoleuca</i>	Tringa	Migratorio	1
140	Scolopacidae	<i>Tringa semipalmata</i>	Tringa	Migratorio	2, 3
141	Scolopacidae	<i>Tringa solitaria</i>	Tringa	Migratorio	1

No.	Familia	Especie	nombre vernáculo	Estatus	Autor (es)
142	Scolopacidae	<i>Tryngites subruficolis</i>	Playero	Migratorio	1
143	Scolopacidae	<i>Linmodromus scolopaceus</i>		Residente	1
144	Sternida	<i>Chlidonias niger</i>		Migratorio	1
145	Thraupidae	<i>Sporophila torqueola</i>	Semillero	Residente	2
146	Threskiornithidae	<i>Platalea ajaja</i>	Espátula rosada	Migratorio	1, 2, 4
147	Threskiornithidae	<i>Plegadis chichi</i>	Ibis cara blanca	Migratorio	1
148	Threskiornithidae	<i>Endocimus albus</i>	Ibis blanco	Residente	1, 2, 4
149	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	Matraca	Residente	2
150	Tyrannidae	<i>Tyrannus forficatus</i>	Mosquero cola larga	Migratorio	2, 4
151	Tyrannidae	<i>Attila spadiceus</i>	Mosquero	Residente	2
152	Tyrannidae	<i>Myiozetetes similis</i>	Chepillo	Residente	2, 4
153	Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Mosquero tropical	Residente	2, 4

Nota: autores: (1) Eisenmann y Avendaño, 2006; (2) Salazar & Sigüenza, 2009; (3) Dávila, García & López, 2014; (4) PNUD, 2018.

Anexo 1. *Lista de especies de aves del humedal Las Lisas-La Barrona.*



Gavilanes de humedal: *Pandion haliaetus* (Águila pescadora)



Gaviotas (Laridae): *Sterna maxima* (Royal Stern)



Patos (Anatidae)



Martines (Alcedinidae): *Chloroceryle*

Anexo 2. *Especies de aves representantes de grupos funcionales*



Cormoran



Loros (Psittacidae): *Amazona sp.*



Playeros



Vencejos (Apodidae)

Anexo 2. *Especies de aves representantes de grupos funcionales... continúa*



Pericas



Búhos pequeños



Zambullidores



Aves zancudas

Anexo 2. *Especies de aves representantes de grupos funcionales...* continúa



Manglar



Arena (playa)



Cuerpo de agua estuarino



Evaporador de sal -salina-



Agricultura



Acuicultura



Área urbana



Huerto



Matorral

Anexo 3. Tipos de cobertura y usos del suelo del humedal Las Lisas-La Barrona



Desarrollo residencial y comercial



Modificaciones del sistema natural salineras



Agricultura y acuicultura



Contaminación

Anexo 4. *Fuentes de presión y amenazas para la conectividad...* continúa



Minería: extracción de arena



Eventos geológicos: mareas de fondo



Corredores de transporte y servicio



Uso de los recursos biológicos

Anexo 4. *Fuentes de presión y amenazas para la conectividad...* continúa