



---

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de  
Recursos Naturales. Patrones y Procesos para la Biodiversidad del  
Neotrópico.

ANÁLISIS ESPACIAL DEL MANGLAR Y SU RELACIÓN CON LA  
AVIFAUNA ASOCIADA EN EL PARQUE NACIONAL HUATULCO  
Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS:

P R E S E N T A

BIÓLOGA ELISA VÁZQUEZ SUASTE

Director de Tesis: Dr. Gustavo Hinojosa Arango

SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN, OAXACA, ENERO 2018



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca Juárez siendo las 11:30 horas del día 01 del mes de septiembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Unidad Oaxaca para examinar la tesis titulada:

Análisis espacial del manglar y su relación con la avifauna asociada en el Parque Nacional Huatulco, Oaxaca

Presentada por el alumno:

Vázquez

Suaste

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s) Elisa

Con registro: 

B	1	5	0	5	1	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

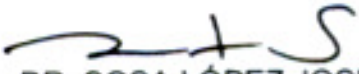
### LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

  
DR. HINOJOSA ARANGO GUSTAVO

  
DR. MARTÍNEZ RAMÍREZ EMILIO

  
DR. GARCÍA GUERRERO MARCELO  
ULISES

  
DR. SOSA LÓPEZ JOSE  
ROBERTO

  
DRA. DURAN MEDINA ELVIRA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
DR. BELMONTE JIMENEZ SALVADOR





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D.F. el día 19 del mes de enero del año 2018, el (la) que suscribe VÁZQUEZ SUASTE ELISA alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES, con número de registro B150514, adscrito(a) al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca**, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) **Dr. Gustavo Hinojosa Arango** y cede los derechos del trabajo titulado **"Análisis espacial del manglar y su relación con la avifauna asociada en el Parque Nacional Huatulco, Oaxaca"**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones [posgradoox@hotmail.com](mailto:posgradoox@hotmail.com) ó [brackettss@gmail.com](mailto:brackettss@gmail.com) Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

VÁZQUEZ SUASTE ELISA

Nombre y firma del alumno(a)



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.

## Índice

<b>Introducción General</b> .....	<b>5</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>9</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>11</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>12</b>
<b>Objetivo general</b> .....	<b>12</b>
<b>Objetivos particulares</b> .....	<b>12</b>
<b>Área de estudio</b> .....	<b>13</b>
<i>Aspectos fisiográficos</i> .....	<b>13</b>
<i>Clima</i> .....	<b>13</b>
<i>Hidrología</i> .....	<b>13</b>
<i>Vegetación</i> .....	<b>15</b>
<i>Aspectos sociales</i> .....	<b>15</b>
<i>Sitios de manglar a muestrear</i> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo Uno</b> .....	<b>18</b>
Resumen.....	<b>19</b>
Metodología .....	<b>20</b>
Corrección geométrica .....	<b>21</b>
Corrección atmosférica.....	<b>21</b>
Realización de mapas temáticos .....	<b>22</b>
Análisis de clasificación .....	<b>23</b>
Evaluación de la incertidumbre.....	<b>23</b>
Pos-clasificación.....	<b>24</b>
Análisis espacial de cobertura de manglar.....	<b>25</b>
Resultados y Discusiones .....	<b>26</b>
Mapas temáticos y evaluación de la incertidumbre.....	<b>26</b>
Análisis espacial de cobertura total del manglar en Huatulco.....	<b>26</b>
Conclusiones.....	<b>40</b>
Recomendaciones .....	<b>41</b>
<b>Capítulo Dos</b> .....	<b>43</b>
Resumen.....	<b>44</b>
Metodología .....	<b>45</b>
Caracterización de avifauna.....	<b>45</b>
Composición de la comunidad de aves por zona.....	<b>47</b>
Curvas de acumulación de especies.....	<b>49</b>
Diversidad de la comunidad de aves.....	<b>49</b>
Resultados y Discusiones.....	<b>54</b>
Composición de la comunidad de aves por zona.....	<b>54</b>
Curvas de acumulación de especies.....	<b>58</b>
Diversidad de la comunidad de aves.....	<b>60</b>
Conclusiones.....	<b>69</b>
Recomendaciones .....	<b>70</b>

<b>Capítulo Tres</b> .....	<b>71</b>
Resumen.....	<b>72</b>
Metodología .....	<b>73</b>
Relación de las variables espaciales de manglar con la composición y diversidad de aves en Parque Nacional Huatulco.....	<b>73</b>
Obtención del área de parches (Ha) y su relación con la riqueza de aves...	<b>73</b>
Relación de la presencia de agua, temporalidad y gremios alimenticios en la composición y la diversidad.....	<b>73</b>
Resultados y Discusiones.....	<b>75</b>
Efecto de las características del manglar (tamaño de manglar y fragmentación.....	<b>75</b>
El efecto de la presencia de agua y la temporalidad en la comunidad de aves asociadas al manglar.....	<b>78</b>
La Estructura de la comunidad de aves en relación a sus gremios alimenticios y ña influencia de la temporalidad.....	<b>78</b>
Conclusiones .....	<b>86</b>
Recomendaciones .....	<b>87</b>
Literatura citada.....	<b>88</b>
ANEXO I.....	<b>96</b>
ANEXO II .....	<b>100</b>
<b>ANEXO III</b> .....	<b>102</b>
<b>ANEXO IV</b> .....	<b>107</b>

### **Agradecimientos:**

Al apoyo de las instituciones que hicieron posible esta investigación: CONACyT, CIIDIR-OAX, Parque Nacional Bahías de Huatulco y Costa Salvaje.

A las personas que ayudaron aportando sus conocimientos y tiempo: Dr. Gustavo Hinojosa Arango, Dr. Rodolfo Rioja López, M. en C. Fernando Gumeta, Gómez y Biol. Raúl Rivera García.

Se agradece a las comunidades de Bajos de Coyula y San Agustín por la confianza, hospitalidad, orientación y permitirnos realizar nuestras exploraciones de campo.

### **Dedicatoria**

A mi Mamá Carolina que es la responsable del amor y pasión que siento por la Naturaleza.

A mi Hermana Sofía que es quien me motiva cada día a ser mejor.

A Bernardo y Yera que iniciaron este viaje conmigo hace dos años.

A mi amiga Andrea que me apoya y cree en lo que hago.

## I. Introducción General

Los manglares son bosques de vegetación halófila facultativa ubicados en la zona de mareas, principalmente en lagunas costeras y estuarios de las regiones tropicales y subtropicales (Agráz-Hernández *et al.*, 2006; CONABIO, 2008). Estas zonas se caracterizan por una elevada concentración de nutrientes, salinidad, mareas y topografía de la costa que los hacen altamente productivos (Aksornkoae *et al.*, 1991; Agráz-Hernández *et al.*, 2006; CONABIO, 2008). Esta compleja dinámica se refleja en los diversos beneficios socio-culturales, económicos, científicos y ambientales que provee éste ecosistema (**Tabla 1**) (Sanjurjo y Welsh, 2005).

Dentro del papel ecológico que los manglares juegan en la zona costera, destaca el proporcionar hábitat para una gran variedad de organismos tanto terrestres como marinos. Las aves terrestres, playeras y marinas son de los grupos que se benefician ampliamente, ya que el manglar tiene gran importancia en el desarrollo y sobrevivencia de estas comunidades. La avifauna utiliza los manglares durante alguna parte del año para cubrir una determinada etapa de su ciclo anual, principalmente para la nidificación, cría o muda del plumaje; o para sus requerimientos diarios como la alimentación o sitios de refugio (Noske, 1996; Blanco, 2000; Contreras y Castañeda, 2004; SEMARNAT *et al.*, 2004). A su vez, las aves juegan un rol importante en el funcionamiento de estos ecosistemas, mediante el control poblacional de insectos herbívoros (Mohd-Azlan, 2010).

La avifauna y los manglares se relacionan en función de las interacciones de diversos factores y cambios dentro del sistema, por ejemplo: disponibilidad de agua, alimento, variaciones de temperatura ambiental, entre otros, que determinan la diversidad y la distribución de las aves (Blanco, 2000). Esta relación es dinámica y resulta en que la estructura de la comunidad de aves cambie a lo largo del tiempo dependiendo de la floración, la disponibilidad de los recursos, los requerimientos de crianza, la naturaleza de la matriz que los rodea, el tamaño del humedal, la fragmentación y la perturbación; aunque los cambios estacionales en el follaje, la zonificación del manglar y las condiciones climáticas pueden incluso causar mayores cambios en el patrón de la distribución (Blanco, 2000; Mohd-Azlan, 2010; Mohd-Azlan *et al.*, 2014).

La comunidad formada por la asociación manglar-aves se encuentra en riesgo por una serie de actividades humanas, entre las que destacan la descarga de aguas residuales, deforestación, agricultura, acuicultura, pesca deportiva y comercial, ecoturismo, turismo, contaminación en general, dragado, alteración del flujo hídrico, y desarrollo urbano e industrial; además de procesos naturales como plagas, enfermedades y huracanes. Dichas perturbaciones pueden afectar de manera significativa la cantidad y capacidad de los manglares para sostener la anidación, alimentación y migración de las aves acuáticas

(Kjerfve y Macintosh, 1997; Kushlan *et al.*, 2006; SEMARNAT, 2009; SEMARNAT y CONAFOR, 2009; López-Medellín *et al.*, 2011; CONABIO, 2013).

En 2010, la Convención RAMSAR reportó que las 1,138 poblaciones de aves acuáticas conocidas a nivel mundial, están disminuyendo a una tasa de 41% y su situación se ha deteriorado más rápidamente en los últimos 20 años. Esto puede estar relacionado de manera directa con la pérdida del bosque de manglar, ya que se estima que los manglares han reducido su extensión a una tasa anual de 1% a 2% en todo el mundo (Uribe y Urrego, 2009).

**Tabla 1 Beneficios que proveen los bosques de manglar (Aksornkoae, *et al.*, 1991; Kabii y Bacon, 1997; Flores-Verdugo, *et al.*, 2005; Sanjurjo y Welsh, 2005; Toledo, 2005; Agráz-Hernández, *et al.*, 2006; Aburto-Oropeza, *et al.*, 2008; Cantú, *et al.*, 2011)**

<b>Beneficios que proveen los bosques de manglar</b>	
<b>Ambientales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtrado de aguas residuales</li> <li>• Amortiguamiento de tormentas</li> <li>• Fijación de nitrógeno</li> <li>• Captura de carbono</li> <li>• Trampa de sedimentos</li> <li>• Hábitat de vertebrados e invertebrados con importancia ecológica y económica</li> <li>• Zonas de refugio y crianza de especies endémicas, migratorias y residentes</li> </ul>
<b>Socio-culturales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de leña</li> <li>• Obtención de sal</li> <li>• Obtención de carbón</li> <li>• Material de construcción</li> <li>• Pesca tradicional</li> <li>• Disfrute del paisaje</li> <li>• Materias para tinción de telas y curtido de pieles</li> <li>• Valores éticos y religiosos</li> <li>• Medicina tradicional</li> </ul>
<b>Científicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacén de recursos genéticos</li> <li>• Refugio para diversas especies en categoría de riesgo</li> <li>• Plantas medicinales</li> <li>• Hábitat para especies de reptiles y aves residentes y migratorias de interés científico y de conservación</li> </ul>
<b>Económicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materias primas para las industrias farmacéuticas y de la curtiduría</li> <li>• Pesca comercial de altamar y ribereña</li> <li>• Protección de especies pesqueras (900 dólares por ha de manglar en Campeche)</li> <li>• Observación de aves como servicio recreativo (17,517,000 dólares al día en Ría Celestún)</li> <li>• Servicios recreativos diversos (858,000 dólares anuales en Nayarit)</li> <li>• Servicios ambientales como captura de Carbono (1,000 dólares por ha)</li> <li>• Valor económico en beneficios directos e indirectos entre 10,000 y 125,000 dólares por ha o 37,500 dólares por ha de franja de manglar al año</li> </ul>

En México, la superficie de humedales, incluidos los manglares, se ha visto disminuida de manera significativa debido al cambio de uso de suelo. La principal amenaza es el incremento de la superficie destinada a la producción de granjas camaroneras y salineras, actualmente abarca un total de 72,711 ha en áreas que anteriormente fueron humedales que proporcionaban hábitat para la distribución de las aves acuáticas migratorias y residentes. La disminución o el aumento de las poblaciones de aves dependen del grado de conservación o perturbación del hábitat, por lo que la pérdida y degradación del hábitat se



ha convertido en el mayor problema con que se enfrenta el manejo de las aves acuáticas (SEMARNAT, 2009).

Debido a estos problemas, la legislación Mexicana ha ido reforzando indirectamente la protección de la relación manglar-aves; ya que todas las especies de manglar se encuentran bajo protección especial mediante la NOM-059 (DOF, 2010; DOF, 2013b) (ANEXO I). Adicionalmente, con la firma del tratado de RAMSAR también se establecen los sitios RAMSAR que incluyen manglares (RAMSAR, 2000). Algunos de estos sitios se han establecido como áreas prioritarias para la conservación de los manglares por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2009), al mismo tiempo que algunas de estas áreas se han tomado en cuenta como Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA's) (Ralph y Terrell, 2005). Asimismo, existe una iniciativa para la Conservación de Aves Acuáticas en las Américas, que se une a otros planes contemplados en la Iniciativa para la Conservación de las Aves de América del Norte (NABCI) en la que cooperan Canadá, Estados Unidos y México (Kushlan, *et al.*, 2006).

En el estado de Oaxaca también se han tomado medidas de protección que ayudan a la preservación de los humedales que proporcionan servicios ambientales clave para la comunidad de aves. Por ejemplo, las dos zonas AICA's (Chacahua-Pastoría y Lagunas de Manialtepec) y el Programa Estatal de Humedales Costeros de Oaxaca (PEHCO) que establecen áreas prioritarias para la conservación de los manglares (IEEDS, *et al.*, 2012). Este programa incluye sitios RAMSAR, como Barra de la Cruz, Playa Tortuguera Cahuitán, Lagunas de Chacahua y Cuencas y Corales de la Zona Costera de Huatulco.

La cuenca costera de Huatulco es el área donde se realizó la presente investigación, incluye el Parque Nacional Huatulco (PNH), un Área Natural Protegida a nivel federal, que fue creado por decreto presidencial el 24 de julio de 1998. Los objetivos de dicho parque son “preservar la biodiversidad, aprovechar los recursos naturales y culturales de forma sustentable, salvaguardar la diversidad genética de las especies endémicas, amenazadas y/o en peligro de extinción y propiciar la investigación científica y el estudio de los ecosistemas costeros” (CONANP, 2003).

En lo referente a la avifauna, dentro del PNH se han registrado 291 especies de aves de las cuales 58 se distribuyen en los humedales como esteros y manglares (CONANP, 2003; Bojorges-Baños, 2011a). Según datos de Rivera (2011), 40 especies de estas aves se encuentran bajo algún estatus de conservación (CONANP, 2003). Datos más actuales y precisos sobre diversidad general y su relación con el manglar dentro del PNH y su zona de influencia no han sido publicados u obtenidos, tal vez porque la costa de Huatulco aparenta tener una baja cobertura de esta vegetación y la mayoría de sus humedales son pequeños; sin embargo son lugares en donde se abastecen de agua las especies durante la época de secas, mediante migraciones temporales de las cañadas y lomeríos a los esteros y lagunas

(CONANP, 2003). Esta falta de atención ha provocado que la relación manglar-aves se encuentre en riesgo por la fragmentación, ya que el PNH y su área de influencia han sido afectados por la pérdida y modificación de cobertura de manglar debido a actividades agrícolas y ganaderas, que junto con el turismo y el crecimiento de los asentamientos urbanos han modificado hábitats esenciales para las aves (Rivera, 2011).

En términos de conservación, es de vital importancia la generación de conocimiento sobre los cambios espaciales y temporales de los hábitats que ocupan las aves, ya que el monitoreo de la vegetación de los humedales puede servir como herramienta para entender los cambios ecológicos a una escala local (Green y Figuerola, 2003). También se hace esencial estudiar la dinámica ecológica manglar-aves durante y fuera de la temporada de reproducción, migración, y la relación de esta dinámica con aspectos de la biología de la avifauna (Kushlan, *et al.*, 2006; Bojorges-Baños, 2011b). Es por ello que la presente investigación adquiere relevancia en su objetivo de conocer los cambios en la extensión del manglar en un periodo de 18 años y la relación que guardan los aspectos espacio-temporales del manglar con la riqueza y composición de la comunidad de aves en la zona costera de Santa María Huatulco, permitiendo con ello fortalecer los objetivos del Plan de Manejo del PNH y las acciones de conservación en el área de influencia que incluye el sitio RAMSAR.

## II. Antecedentes

En México, los manglares han sido estudiados durante más de 30 años por ecólogos, antropólogos, sociólogos y economistas (CONABIO, 2008). Se han realizado diversos cálculos sobre la extensión de los manglares con lo cual se ha logrado estimar que los manglares representan solamente 1% de los bosques tropicales en todo el planeta, lo que equivale a 16,000,000 de ha (Flores-Verdugo *et al.*, 2005). En México durante 1970 el Inventario Nacional Forestal (INF) realizado por CONAFOR, indicó que los bosques de manglar ocupaban un total de 14,200 km<sup>2</sup>; sin embargo, en el año 2000 se estimó tan solo un total de 9,421 km<sup>2</sup> de cobertura, lo que se traduce como una pérdida del 34% del total estimado treinta años antes, en las mismas estimaciones 300 km<sup>2</sup> fueron reportados para Oaxaca (Agráz-Hernández, *et al.*, 2006).

La Comisión Nacional para el Uso y Protección de la Biodiversidad realizó una estimación en 2013 de la extensión de los manglares mexicanos, por medio de mapas e imágenes satelitales con tres intervalos de tiempo (CONABIO, 2013). Este estudio diferenció entre superficie de manglar y manglar perturbado; se calculó que en el intervalo de tiempo de 1970 a 1980 la extensión de manglar fue de 8,563.08 km<sup>2</sup> y de manglar perturbado 4.16 km<sup>2</sup>, para 2005 la extensión de manglar fue de 7,740.9 km<sup>2</sup> y de manglar perturbado 0.8906 km<sup>2</sup>, por último para 2010 se calcularon 7,644.86 km<sup>2</sup> de manglar y 147.62 km<sup>2</sup> de manglar perturbado.

Específicamente para Oaxaca, se calculó que para el año 1979 existían 285.01 km<sup>2</sup> de manglar y que este no presentaba perturbaciones, para el año 2005 se calcularon 185.22 km<sup>2</sup> y 0.06 km<sup>2</sup> de manglar perturbado, mientras que en 2010 el manglar tenía una extensión de 186.07 km<sup>2</sup> y 0.41 km<sup>2</sup> estaban perturbados (CONABIO, 2013). Para atender este problema de la disminución de cobertura de manglar, en 2011 entra en vigor el Plan Estatal de Desarrollo, en el cual se incluye el Programa Estatal de Humedales Costeros de Oaxaca (PEHCO), que funciona como una herramienta para el manejo, uso y conservación de los humedales de la costa de Oaxaca, incluyendo los humedales costeros del Parque Nacional Huatulco y los del sitio RAMSAR Cuencas y Corales de la Zona Costera de Huatulco.

A pesar de que el estudio de los manglares a nivel nacional inició hace más de tres décadas, la investigación de los ecosistemas de manglar es escasa para el estado de Oaxaca, esto se refleja en el bajo número de publicaciones y trabajos formales realizados a la fecha. En el caso particular de los estudios de avifauna en la costa de Oaxaca, se cuenta con algunos inventarios que analizan la relación de las aves con los hábitats que ocupan; un ejemplo de este tipo de estudios son las monografías ornitológicas de Binford (1989) que reportan la presencia de 12 especies que usan el manglar como sitio de alimentación.

Así mismo, se han realizado estudios que reportan la presencia de algunas especies de aves a lo largo de la costa, como la nota publicada por Mellink *et al.* (1998). Ellos reportaron 31 especies marinas y acuáticas para la Costa Chica de Oaxaca; estas observaciones las realizaron en La Ventanilla (10 especies), Laguna de Manialtepec (18 especies), La Pastoría (11 especies), Laguna del Corral (14 especies), Laguna de Chacahua (10 especies), Canal del Corral (12 especies), Palmasola (5 especies), Río Tonameca (14 especies) y Colotepec (6 especies).

En la zona del Pacífico sur de México, se han realizado varios inventarios de aves, como el de Ramírez-Bastida y Navarro-Sigüenza (2013) que recorrieron las costas de Colima, Guerrero y Oaxaca. Su estudio reporte para la costa oaxaqueña encontraron 337 especies, entre las que se incluyen 4 especies en San Agustín, 3 especies en playa Cacaluta, 6 especies en Bahía Santa Cruz, 5 especies en playas sin acceso por tierra y 4 especies en el faro de Huatulco.

Entre los estudios de riqueza de especies se encuentran los de Ruíz y Bojorges (2014) en La Ventanilla-Tonameca donde encontraron 185 especies entre los ambiente de manglar y estuarino. A su vez, en la región centro de la costa de Oaxaca, González-Bravo y Meráz (2010) encontraron 43 especies de aves. Bojorges-Baños (2011 b) realizó un estudio de riqueza y diversidad de aves asociadas al manglar en tres sistemas lagunares, en donde encontró para Chacahual 67 especies, para Manialtepec 72 especies y para La Ventanilla 71 especies. Para la región costera de Huatulco se cuenta con el estudio de Bojorges-Baños (2011a) que realizó un estudio sobre riqueza de aves en la microcuenca del río Cacaluta, su estudio reportó la presencia de 110 especies en un gradiente de vegetación selvática, ribereña y de manglar.

Bojorges-Baños concluye en sus estudios de 2011 (a y b) que la distribución de la avifauna en la costa del Pacífico mexicano no ha sido completamente documentada, por lo que son necesarias investigaciones en regiones particulares. Estos lugares pudieran albergar información para comprender variaciones en la distribución, riqueza y diversidad de la avifauna e identificar los factores que las causan, as como las amenazas a las poblaciones de aves. Mellink y colaboradores (1998) sugieren la implementación de monitoreos de las comunidades de aves a lo largo del tiempo, con la finalidad de comprender su dinámica temporal y los efectos provocados por las actividades antrópicas.

Como se muestra, existen grandes vacios en la investigación de aves costeras de Oaxaca, una región considerada con graves retrasos económicos y educativos, a pesar de ser el estado con mayor diversidad biológica del país. Uno de los temas prioritarios de investigación es la relación espacio-temporal del manglar con la riqueza y composición de la comunidad de aves acuáticas, marinas y terrestres.

### **III. Justificación:**

La relación manglar-aves en el caso específico de Huatulco se encuentran amenazada por la falta de planificación del desarrollo urbano, turístico, agrícola y ganadero, afectando la permanencia de los manglares y la comunidad asociada. Adicionalmente, la presencia de contaminantes domésticos y fertilizantes agrícolas han contribuido a la desaparición y reducción de la extensión de los manglares (CONABIO, 2013), principalmente asociada al cultivo de papaya y desarrollo rural/urbano no regulado en la región de Huatulco (obs. *insitu.*). La posible creación de desarrollos turísticos como: campos de golf, Proyecto Punta Maguey y el Corredor Ecoturístico Comunal Huatulco (CETCH) en el área de la microcuenca de Cacaluta y sus bahías correspondientes, ponen en riesgo la continuidad estructural y los procesos ecológicos de los manglares, afectando directamente los servicios ecosistémicos que proporcionan, especialmente aquellos que permiten la presencia de aves residentes, endémicas y migratorias en el área de estudio y sus ambientes adyacentes (Rivera, 2011).

Una amenaza grave es el cambio en la calidad de agua de algunas lagunas, principalmente la laguna Salina, posiblemente provocados por la contaminación con agroquímicos y la escases de lluvias (Escalona, *et al.*, 2003), que podrían estar relacionados con la baja cantidad de aves que se han registrado en los monitoreos que realiza el personal del PNH (com. pers. Gordillo Solís, 2016). En otros casos, la fragmentación del manglar por causa del cambio de uso de suelo no regulado es muy evidente, como en el manglar en la bahía San Agustín, en donde además la contaminación del agua y suelo por residuos sólidos, la descarga de aguas negras pone en riesgo la continuidad de los servicios ecológicos que presta el manglar.

Debido a las amenazas que enfrentan el manglar y la comunidad de aves asociada, este trabajo presenta datos sobre la composición y riqueza de la comunidad de aves en relación a la cobertura del manglar, permitiendo identificar sitios con componentes que satisfagan necesidades específicas de las aves y sitios de especial interés de conservación y restauración. Como indica Ramos (2010), “este conocimiento sería la base para proponer estrategias de manejo y conservación de las poblaciones de aves y sus hábitats”.

#### **IV. Hipótesis:**

1.- A pesar de las múltiples presiones a las que se enfrenta la zona costera de Santa María Huatulco, podría no encontrarse disminución en la extensión del manglar en el periodo de 1998 a 2014 en el PNH y su área de influencia.

2.- Se espera que la composición y la diversidad de la comunidad de aves varíe espacio-temporalmente de acuerdo a las características espaciales y estructurales de los bosques de manglar que satisfagan las necesidades biológicas de las especies presentes.

#### **V. Objetivo general:**

Estimar el cambio en la extensión del manglar en un periodo de 18 años, y encontrar las relaciones de los aspectos espacio-temporales del manglar con la riqueza y composición de la comunidad de aves en la zona costera de Santa María Huatulco, permitiendo con ello fortalecer los objetivos del Plan de Manejo del PNH y las acciones de conservación en el área de influencia.

#### **VI. Objetivos particulares:**

Los Objetivos particulares de esta investigación son presentados en tres capítulos. El primer capítulo se enfoca a la metodología para el análisis de cambios del manglar y sus respectivos resultados. En el segundo capítulo se presenta la metodología para realizar el inventario de aves asociadas a manglar y se discute la relevancia de diversidad registrada. En el tercer capítulo se integra la información del manglar y avifauna, y se analiza las posibles relaciones que existan entre estos dos componentes del ecosistema.

**OP1:** Estimar el cambio en la cobertura arbórea del manglar en la zona costera de Santa María Huatulco para el periodo comprendido entre 1998 y 2016, a través imágenes satelitales para conocer los cambios en la extensión de los manglares antes y después del establecimiento del PNH (Ver Capítulo uno).

**OP2:** Caracterizar la avifauna asociada al manglar en un periodo de un año, mediante conteos por puntos al azar situados en los manglares de la zona costera de Santa María Huatulco, para obtener la diversidad de aves en los sitios de interés (Ver Capítulo dos).

**OP3:** Analizar las relaciones que tienen las características espacio-temporales del manglar en la composición y diversidad de la comunidad de aves, para identificar las áreas de importancia para las aves en la región de Huatulco (Ver Capítulo tres).

## VII. Área de estudio

El Parque Nacional Huatulco (PNH) pertenece al distrito de Pochutla, municipio de Santa María Huatulco, en Oaxaca (Salas-Morales, *et al.*, 2007). Se encuentra dentro del área del Desarrollo Turístico Bahías de Huatulco, entre las coordenadas 15°39'12'' y 15°47'10'' de latitud Norte y 96°06'30'' y 96°15'00'' de longitud Oeste (CONANP, 2003) (**Figura 1**).

### *Aspectos fisiográficos*

El parque pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y a la subprovincia 73 “Costas del Sur” conformada por montañas medianas, lomeríos complejos y llanuras fluviales (CONANP, 2003). Al sur su relieve se compone de quebradas y montañas, presentando algunos valles perpendiculares a la costa, que al acercarse al mar, se van ensanchando. Los paisajes topográficos que pueden distinguirse son: cerros redondeados, cerros aislados, lomeríos suaves, dunas, playas de bahías, escarpes, acantilados, islas y farallones con altitudes que no rebasan los 200 m.s.n.m. (Salas-Morales, *et al.*, 2007).

El área del polígono del PNH es de 11,890.98 ha de las cuales 6,374.98 ha son terrestres y 5,516.00 ha son marinas (CONANP, 2003). Parte del parque se encuentra dentro del sitio RAMSAR “Cuencas y Corales de la Zona Costera de Huatulco” que abarca 41,323 ha en su porción terrestre y 3,077 ha en su porción marina (Escalona, *et al.*, 2003).

### *Clima*

Debido a su posición latitudinal e influencia de las aguas cálidas del océano Pacífico, Huatulco presenta un clima cálido subhúmedo con un porcentaje de lluvias en verano mayor al 90 %, por lo que se clasifica con un clima cálido subhúmedo, con el subtipo menos húmedo ( $Aw'0(w)$  ig) y precipitación en el mes más seco menor a 50 mm. Su cercanía con el mar mantiene un promedio de 37% de humedad (CONANP, 2003; Salas-Morales, *et al.*, 2007). Se considera que la temporada de lluvias abarca los meses de mayo a octubre y la temporada de secas de noviembre a abril (CONAGUA y PRONACOSE, 2014).

### *Hidrología*

El PNH pertenece a la zona hidrológica 21 del sector suroriental de la cuenca del río Copalita; se integra por una serie de pequeñas cuencas separadas entre sí, con origen en las últimas estribaciones de la Sierra Sur y de tamaño medio, que incluyen ríos perennes (Cuajinicuil-Xúchilt-Arenal) con un área aproximada de drenaje de 178 km<sup>2</sup>, y cuyo caudal hoy no es permanente. Estos ríos constituyen fases de intercambio entre zonas altas y zonas bajas, característica importante para los flujos de nutrientes y energía (CONANP, 2003).

# Manglares de la Zona Costera de Huatulco

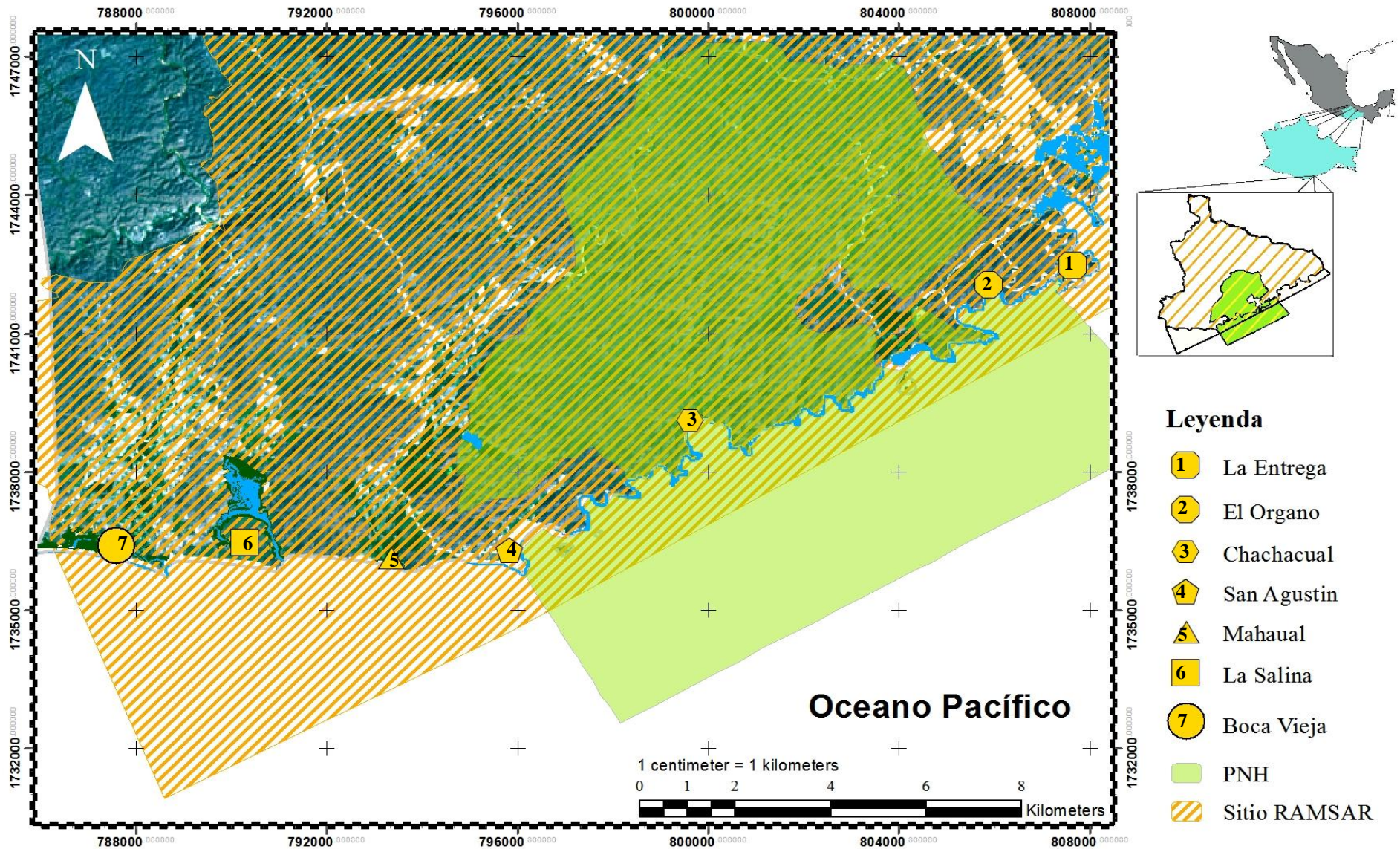


Figura 1. Sitios de manglar en la zona costera de Santa María Huatulco. Los sitios de manglar estudiados en el presente trabajo fueron: 1) La Entrega, 2) El Órgano, 3) Chachacual, 4) San Agustín, 5) Mahahual, 6) La Salina y 7) Boca vieja (Fuente: elaboración propia).



Destaca también la presencia de lagunas intermitentes que pueden llegar a permanecer todo el año; la asociación de las bahías con pequeñas lagunas costeras semipermanentes y desembocaduras de ríos dan lugar a comunidades de manglar que son importantes como hábitat y refugio para diferentes especies amenazadas (Rivera, 2011).

### *Vegetación*

La vegetación corresponde a la Región Caribeña provincia No. 12 “Costa Pacífica”, presenta elementos vegetales característicos de ambientes secos y ambientes húmedos tropicales representados por una gran diversidad de ecosistemas, por ejemplo: selva baja caducifolia, dunas costeras, vegetación riparia, vegetación secundaria, selva baja caducifolia de dunas costeras, sabana, manzanillar, manglar y humedales (Rzedowski, 2006; Rivera, 2011). El manglar, se compone por árboles que alcanzan alturas de 2 a 25 m, sin elementos herbáceos o trepadoras, predominan tres especies de manglar: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, este ambiente se encuentra principalmente en la playa Chachacual, El Órgano y playa La Entrega, así como en la zona de influencia en Cacaluta y San Agustín (CONANP, 2003).

### *Aspectos sociales*

La cercanía del PNH con los bienes comunales del municipio de Santa María Huatulco, poblado de La Crucecita, Santa Cruz, Cacaluta y localidades del área de influencia, determina en gran parte el uso del suelo y cobertura vegetal existente en la zona circundante al parque (Rivera, 2011).

### *Sitios de manglar a muestrear*

Estero Boca Vieja: Las coordenadas extremas del bosque de manglar son 15°41'11.72"N, 96°18'26.72"O. El estero está formado por la desembocadura del Río Coyula que alimenta el extremo oriental del manglar y desemboca en playa Boca Vieja. El extremo occidental del manglar es alimentado por corrientes intermitentes de agua. El acomodo de la vegetación promueve la formación de distintos tipos de ambientes como bosques, brazos y túneles. Es un sitio RAMSAR y presenta algunas perturbaciones antrópicas no recientes, como el caso de tala y relleno de una parte del terreno en su extremo oriental.

Laguna La Salina: Se encuentra en las coordenadas 15°41'53.51"N, 96°17'27.06"O. El estero es alimentado por corrientes intermitentes resultantes de la época de lluvias, la boca barra desemboca en la playa del mismo nombre. Las especies de manglar presentes en el sitio son *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, en cuanto a los tipos de ambientes la vegetación forma bosques e islas de manglar. Se encuentra dentro del sitio RAMSAR. Actualmente la calidad de su cuerpo de agua ha sufrido cambios relacionados con el cierre del paso de agua, que posiblemente ha provocado el florecimiento de cianobacterias que dan una coloración rosada al agua

(Rodríguez, 2016). El intercambio marino es solamente por filtración, ya que el estero tiene ya varios años incomunicado de forma directa con el mar.

Estero Majahual-Arenal: Es un humedal ubicado en las coordenadas 15°41'4.71"N, 96°15'40.99"O y pertenece al sitio RAMSAR. La laguna es alimentada por el arroyo Cuajinicuil que tiene aportes de agua intermitentes. La vegetación es arbustiva y cerrada, se encuentra representada por *A. germinans*, *R. mangle*, *C. erectus* y *L. racemosa*, en su parte oriental el manglar se mezcla con “majagua” (*Talipariti elatum*), esta planta se puede observar en sitios inundables y no inundables. Parte del manglar, en su extremo occidental, se encuentra sobre la playa en suelo arenoso y se compone de *C. erectus*. Éste forma un ambiente abierto, por su parte el resto del manglar se caracteriza como bosque y otra parte se acomoda a lo largo de un brazo de agua. Durante la época de lluvias abre su boca en playa El Arenal desembocando hacia el Océano Pacífico.

Playa la Entrega: Ubicada en las coordenadas 15°44'33"N, 96°07'42.5"O pertenece al sitio RAMSAR y se encuentra dentro del PNH. El manglar en este sitio es alimentado por aportes de agua de lluvia y en raras ocasiones por intercambio marino; ya que existe una tubería que comunica con el mar; sin embargo, esto no es posible siempre ya que la tubería se azolva constantemente con sedimentos y hojarasca del manglar. La vegetación es arbustiva en su extremo occidental y cambia a arbórea hacia el extremo oriental, el manglar está representado por *A. germinans*, *C. erectus* y *L. racemosa*. Los árboles forman un parche de bosque relictual sin túneles o brazos. En la Playa se llevan a cabo actividades turísticas y cuenta con certificado de playa limpia, debido a las actividades de limpieza por parte de los prestadores de servicios turísticos y el personal del PNH. A pesar de eso, el área ocupada por el manglar presenta residuos sanitarios y sólidos. En sus alrededores se puede encontrar diferente infraestructura como estacionamientos, carreteras, puestos de comida y hoteles; sin embargo, también se puede encontrar vegetación nativa (selva baja caducifolia y matorral xerófilo), secundaria y ornamental.

Bahía San Agustín: Sitio ubicado en las coordenadas 15°41'11.22"N, 96°14'20.41"O pertenece al PNH y es sitio RAMSAR. El manglar es de tipo cuenca y es alimentado por corrientes marinas durante el mar de fondo, por arroyos presentes durante la época de lluvias y por aguas negras domésticas durante todo el año. El manglar se distribuye en parches y tiene un crecimiento arbustivo y arbóreo, las especies encontradas son *L. racemosa*, *C. erectus* y *R. mangle*, que en algunos parches se mezclan con vegetación secundaria como pastos, acacias y cactáceas. Algunos parches de manglar son bosque relictual y algunos se encuentran a lo largo de brazos de agua. Los parches se encuentran bajo la presión de la comunidad establecida y en constante crecimiento, sus principales actividades económicas son los servicios turísticos y la pesca; sin embargo, la falta de planeación urbana ha propiciado que algunas casas se encuentren en sitios donde anteriormente crecía el manglar. Lo anteriormente mencionado, junto a la carencia de servicios de agua potable, drenaje y servicios sanitarios, ha provocado impactos por relleno,

tala, modificación del paisaje, modificación en la circulación del agua, fauna introducida, además de contaminación de suelo, agua y aire por residuos sólidos y sanitarios.

Bahía Chachacual: Se ubica en las coordenadas 15°42'47.62"N, 96°12'15.37"O pertenece al PNH y es sitio RAMSAR. El manglar es de tipo cuenca, es alimentado por corrientes marinas durante los eventos de mar de fondo y recibe aportes de agua epicontinental durante la época de lluvias de arroyos estacionales. El manglar es de crecimiento arbustivo-arbóreo formando un solo parche; en la parte más baja de su microcuenca se acumula el agua, el manglar se dispone alrededor formando un ambiente tipo túnel en su parte occidental y más al oriente la vegetación se abre y se mezcla con selva baja caducifolia. Las especies de manglar presentes en el sitio son *A.germinans* y *L.racemosa*. El sitio no se encuentra habitado y es de difícil acceso por tierra, siendo el acceso por agua el más sencillo; por lo cual no se presentan actividades de ningún tipo, en él se han observado tortuga laúd, golfinas, aves migratorias, iguanas (IEEDS, 2012) y una población de cangrejos hermitaños. Hacia el este se abre una pequeña boca barra por la cual se comunica con el mar cuando las condiciones son propicias.

Playa El Órgano: Se encuentra ubicada en las coordenadas 15°41'41.85"N, 96°13'31.64"O y 15°41'47.84"N, 96°13'26.02"O, pertenece al PNH y es sitio RAMSAR. El manglar es de tipo cuenca, se inunda estacionalmente con agua proveniente de escorrentías durante la época de lluvias y con agua marina proveniente del fenómeno de mar de fondo, el intercambio marino sucede durante la época de lluvias y la boca se ubica en el extremo oriental del parche. El manglar es de crecimiento arbustivo y arbóreo en su mayoría, en su parte occidental colinda con vegetación de matorral xerófilo y se mezcla con cactáceas, cspargaceas y fabaceas, en su parte oriental colinda con selva baja caducifolia. El manglar propicia un ambiente boscoso y se compone por *L. racemosa* y *C. erectus*. Es una zona no habitada y solo visitada ocasionalmente por turistas, la playa cuenta con certificado de playa limpia; pero a pesar de contar con contenedores de basura, se pueden observar residuos sanitarios dentro del manglar, provocando contaminación de suelo, agua y aire.

# Capítulo Uno

**Estimación del cambio en la cobertura arbórea del manglar en la zona costera de Santa María Huatulco.**

## Resumen

La preocupación por el desarrollo turístico en Huatulco motivo a proteger la biodiversidad en la zona; mediante decreto presidencial en 1998 se creó el Parque Nacional Huatulco (PNH). Sin embargo, desde su fundación solo se ha estimado de manera somera la extensión de los manglares en el PNH y su área de influencia, sin que se hayan realizado trabajos para evaluar las tendencias en cobertura de este tipo de ecosistema. Este capítulo describe el trabajo realizado para estimar la extensión actual y cambio en la cobertura del manglar en la zona costera de Santa María Huatulco para el periodo comprendido entre 1998 y 2016. Los resultados nos muestran las tendencias en cobertura de los manglares en el PNH y su área de influencia, que deben de ser consideradas para proponer adecuaciones a las estrategias de manejo existentes o para la implementación de nuevas estrategias para su conservación.

Se analizaron tres imágenes satelitales Landsat correspondientes a los años 1998, 2005 y 2016 mediante percepción remota integrada en Sistemas de Información Geográfica (SIG); permitiendo la obtención de tres mapas temáticos utilizados para estimar la variación temporal en la extensión de la cobertura de los manglares.

Los resultados indican que la protección del manglar mediante la creación del PNH y la puesta en marcha de su plan de manejo en 2005 ha ayudado a reducir la pérdida de cobertura del manglar; sin embargo, la mayoría de los sitios no han mostrado una tendencia hacia el incremento de cobertura para su recuperación, solo dos sitios presentaron un aumento no significativo de cobertura.

Existen varios factores que contribuyen en diferentes escalas a la disminución de la cobertura de los manglares en la costa de Huatulco. Se observaron procesos de fragmentación, cambio en uso de suelo de selva baja a agricultura, la alteración de los flujos de agua, relleno y construcción en zonas de manglar, así como la eutroficación de los cuerpos de agua. Así mismo, se sabe de manera indirecta que los efectos de borde, las sequías prolongadas y las características hidrológicas locales también tienen influencia sobre las tendencias observadas.

Derivado de este trabajo, es evidente que el manejo de los ecosistemas de manglar debe estar acompañado de un estudio y manejo integral de las cuencas; así como de actividades de sensibilización de las comunidades humanas aledañas a estos ecosistemas, ya que se torna clave para la implementación de programas de manejo adaptativo y participativo. Esto permitiría, por ejemplo, la implementación de nuevas técnicas de fertilización de los cultivos de papaya aledaños a manglar para mitigar los impactos y presiones sobre estos ecosistemas, coadyuvando con ello a recuperación de la cobertura de manglar y la conservación de los servicios ecosistémicos que proveen.

## Metodología

Los Sistemas de Información Geográfica son un conjunto de tecnologías de información y procesos para la obtención, almacenamiento y análisis de datos (Moreira, 1996). El análisis espacial es el núcleo de las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica y abarca una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a datos distribuidos sobre el espacio geográfico (Buzai, 2010). Estas técnicas fueron empleadas en el presente trabajo para contribuir con el manejo costero mediante la generación de mapas e inventarios de manglares, mismos que fueron analizados para determinar la variación temporal y espacial en la extensión de la cobertura de los manglares (Acosta-Velázquez y Ruíz-Luna, 2007).

Para cumplir con el primer objetivo de esta investigación se realizaron las estrategias de búsqueda de imágenes satelitales, muestreo en campo y análisis de los mapas temáticos resultantes:

### 1. Procesamiento de imágenes satelitales para el análisis espacial de cambios de cobertura

El primer paso para la elaboración de los mapas temáticos fue realizar una corrección geométrica y atmosférica de las imágenes satelitales (**Tabla 2**), con el fin de eliminar los defectos y distorsiones causados por los instrumentos de percepción remota.

Las metodologías empleadas para el procesamiento de las imágenes satelitales y análisis espacial de cobertura se indican en el diagrama de flujo de la Figura 9. Estos procesos fueron realizados bajo la supervisión del Biólogo Raúl Rivera (CIIDIR-Oaxaca) y del Dr. Rodolfo Rioja Nieto (UMDI-Sisal, Yucatán).

**Tabla 2. Información utilizada para el análisis espacial de cobertura y la creación de mapas temáticos.**

Información	Fuente	Resolución
Shapefile del Polígono del PNH	CONANP	-----
Shapefile del Municipio de Santa María Huatulco	CIIDIR-Oax	-----
Shapefile del Polígono del Sitio RAMSAR Cuencas y Corales de la Zona Costera de Huatulco	RAMSAR	-----
Shapefile Uso del suelo y vegetación, Series II, III y V	INEGI CONABIO	Escala 1:2550000
Shapefile distribución de los manglares en México de 1920-1981, 2005, 2015	CONABIO	-----
Modelo de elevación digital	CIIDIR-Oaxaca	30 metros
Landsat 5 L1T 1998	USGS	30 metros
Landsat 7 L1T 2005	USGS	30 metros
Landsat 8 L1T 2016	USGS	30 metros

Todas las correcciones necesarias fueron realizadas con los Programas ERDAS Imagine 2015®, ENVI ® y ArcGis 10.1®. Debido a que las imágenes Landsat L1T ya cuentan con correcciones radiométrica, geométrica y topográfica, el proceso de la corrección geométrica no se realizó y solo se llevó a cabo una comprobación, pero la corrección atmosférica si fue realizada. Un segundo proceso de corrección topográfica fue omitido ya que la zona de clasificación se delimitó de 0 a 15 m.s.n.m.

Corrección geométrica: Corrige las alteraciones que causa el movimiento del satélite en la imagen global, la cual se ajusta a un nuevo espacio de referencia donde cada pixel tiene asignado el valor XY que le corresponda en un sistema de proyección geográfica determinado (Cuartero y Felicísimo, 2003). Para verificar la correspondencia geométrica de las imágenes, se realizó en ArcGis 10.1® un clip correspondiente al municipio de Huatulco del vector “Red de carreteras de Oaxaca” del INEGI, para tener una imagen de referencia y así comprobar que las coordenadas de los pixeles de la imagen satelital coincidieran de manera precisa con la imagen de referencia. Posteriormente se visualizó en ENVI 5.3® una de las imágenes satelitales y el clip mencionado anteriormente, el proceso se realizó con todas las imágenes y se confirmó que existía coincidencia entre las imágenes satelitales y la imagen de referencia por lo que no fue necesario realizar la corrección geométrica.

Corrección atmosférica: Debido al uso que se le dio a las imágenes Landsat, fue recomendable realizar una corrección atmosférica con la finalidad de eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por gases y partículas presentes en la atmósfera (Riaño, *et al.*, 2000; Green, *et al.*, 2000). Esta corrección se realizó de acuerdo al método de Extracción del Pixel más Oscuro (Chavez, 1996), el cual asume que en la imagen satelital existe en cada banda un pixel con reflectancia igual a cero perteneciente a zonas con fuerte absorción (agua), por lo tanto, su valor radiométrico se atribuye a la trayectoria de la radiancia y para eliminar este efecto el pixel de menor valor en cada banda es sustraído (Green, *et al.*, 2000; Lu, *et al.*, 2002). Este proceso fue realizado en el programa Excel® y ERDAS Imagine 2015®. Se visualizó cada una de las imágenes satelitales por separado utilizando las bandas 1, 2, 3 y 4, se identificaron zonas de agua profunda en las cuales se escogieron 15 pixeles al azar para cada una de las bandas y, para cada banda se obtuvo el promedio y desviación estándar de los 15 pixeles seleccionados por banda, posteriormente se calculó el doble de la desviación estándar y se restó al promedio mediante el programa Microsoft Excel®.

Posteriormente se construyó en ERDAS Imagine 2015 ® un modelo en el módulo Model Maker, donde el valor de cada banda de la imagen satelital a corregir se restó al resultado de las operaciones realizadas en Microsoft Excel®.

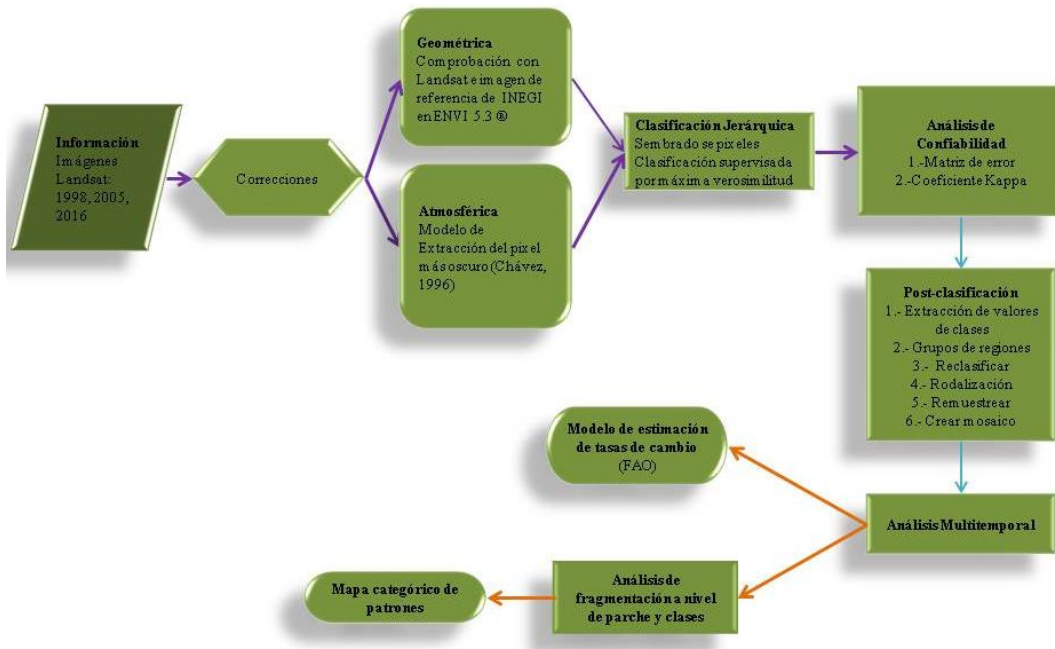


Figura 2. Diagrama de flujo que muestra los pasos a seguir para el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales

Realización de mapas temáticos: Una vez corregidas las imágenes se creó un polígono del área de interés que comprendió de 0 a 15 m.s.n.m de la zona costera de Huatulco, que es la altura promedio en la que se encuentran distribuidos los manglares (SIRE-CONAFOR, 2003). El primer paso consiste en la selección de 193 puntos de entrenamiento, para los cuales se obtuvieron las coordenadas en campo utilizando un GPS Garmin® modelo GPSMap60CSX. Se seleccionaron los puntos que correspondían solo a las siguientes clases de vegetación: manglar, vegetación secundaria, selva baja caducifolia, matorral xerófilo, sin tomar en cuenta los píxeles que correspondían a ecotonos entre estos hábitats. Estos puntos de entrenamiento sirvieron para la generación de un archivo shapefile. Para la generación de los mapas temáticos de diferentes años fue necesario que los campos de entrenamiento seleccionados pertenecieran a las mismas clases durante el periodo de tiempo a estudiar (1998 a 2016), por lo que se utilizaron los shapefiles de distribución de manglares generados por CONABIO para los años 1970-1981, 2005 y 2015, así como las series II, III y V de INEGI para manglar, vegetación secundaria, selva baja caducifolia y matorral xerófilo. Con todos estos archivos se crearon polígonos de cada tipo de clase que haya perdurado desde 1998 a 2016 en ArcGis 10.1®, con esta información se seleccionaron los campos de entrenamiento que coincidían dentro de los polígonos generados para cada tipo de vegetación.

Se visualizaron al mismo tiempo las imágenes satelitales compuestas en falso color en la combinación RGB 432 de los tres años (1998, 2005 y 2016) y se seleccionaron los campos de entrenamiento correspondientes a píxeles que no presentaban cambios en sus firmas espectrales. Esto con la finalidad de seleccionar solo los campos de entrenamiento



presentes durante el periodo de tiempo a estudiar y que fueran detectables los cambios en cobertura vegetal, al final del proceso se conservaron 135 campos de entrenamiento.

Análisis de Clasificación: Es un método eficaz para distinguir diferentes tipos de objetos presentes en una imagen satelital a través del estudio de su firma espectral (Pascual, *et al.*, 2010). La firma espectral resulta de la distribución de la reflectancia como función de la longitud de onda, es diferente para los distintos tipos de vegetación por lo que es posible lograr separarla en distintas clases de cobertura vegetal (Palacios-Sánchez, *et al.*, 2006). Para este análisis, se utilizaron 107 de los puntos de entrenamiento con los cuales se realizó un sembrado en mosaico limitado a 5 píxeles con una distancia euclidiana espectral de 10.00, el sembrado de píxeles permite encontrar las firmas espectrales más cercanas a la firma del punto de entrenamiento, por lo que permite aumentar el número de píxeles para cada clase (Green, *et al.*, 2000).

Con el sembrado de píxeles se realizó una clasificación supervisada con cuatro clases: manglar, matorral xerófilo, otra vegetación (vegetación secundaria y selva baja caducifolia) y agua. Para generar la clasificación se utilizaron algoritmos de máxima similitud que asigna cada píxel a una de las cuatro clases dependiendo de su firma espectral (Palacios-Sánchez, *et al.*, 2006; Rioja-Nieto, *et al.*, 2013). La clasificación se realizó con el programa ERDAS Imagine 2015®, dando como producto final los mapas temáticos. Estos fueron analizados posteriormente mediante el método de Neighborhood para retirar el efecto de ruido que arroja la clasificación y formar bloques de las clases generadas.

Evaluación de la incertidumbre: Para cuantificar la exactitud de la clasificación supervisada en las tres imágenes se realizó una evaluación de los mapas temáticos con los 28 puntos de entrenamiento restantes. Esta evaluación dio como resultado una matriz de confusión que indicó la precisión de clasificación comparando los píxeles clasificados con los 28 campos de entrenamiento, dando por resultado la evaluación correcta y los errores entre las clases estudiadas. Adicionalmente, se obtuvieron a partir de la matriz de confusión tres parámetros de confiabilidad: la precisión total, precisión de producción y precisión de utilización (López, *et al.*, 2005; Niclós, *et al.*, 2010; Arenas, *et al.*, 2011).

*Precisión total:* Cuantifica el número de píxeles correctamente clasificados, se expresa en porcentaje y se busca alcanzar entre 80% a 90% de precisión.

*Precisión de producción:* Muestra la probabilidad de que un píxel de una clase este clasificado correctamente. Esta precisión está relacionada con errores de omisión en los que lo píxeles de alguna clase no están clasificados como correspondientes a dicha clase.

*Precisión de utilización:* Indica la probabilidad de que un píxel asignado a una clase corresponda efectivamente a dicha clase. Está relacionada con errores de comisión en los que se toman en cuenta los píxeles pertenecientes a alguna clase se encuentren en regiones de interés de clases diferentes.

El mismo análisis generó el coeficiente Kappa que mide con mayor precisión la exactitud de un mapa, ya que incluye dentro del cálculo todos los valores de la matriz y no solamente sus extremos (Arenas, *et al.*, 2011). Este coeficiente mide la fuerza de concordancia entre los campos de entrenamiento y el resultado de la clasificación (Oyola, 2009; Frau, *et al.*, 2010).

El coeficiente Kappa fue calculado con la siguiente fórmula (Arenas, *et al.*, 2011):

Donde:

N= Número de observaciones en la fila *i* y columna *i*

X<sub>i+</sub>=Número de observaciones en los totales marginales de la columna *i*

r= Número de filas en la matriz

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r (x_{ii}) - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

El resultado de este coeficiente es valorado de acuerdo a su fuerza de concordancia (**Tabla 3**).

**Tabla 3. Valoración del Coeficiente Kappa. Tomado de (Landis y Koch, 1977).**

Valoración del Coeficiente Kappa	
Valor de K	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01-0.20	Leve
0.21-0.40	Aceptable
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Considerable
0.81-1.00	Casi perfecta

Post-clasificación: El polígono para la clasificación se delimitó de 0 a 15 m.s.n.m para encontrar sitios potenciales de manglar que no se hubieran contemplado anteriormente, estos sitios fueron corroborados en campo para corregir el porcentaje de error que se generó en la clasificación por la similitud de las firmas espectrales del manglar y otro tipo de vegetación como ribereña, halófila y acuática.

Una vez confirmados los sitios nuevos en campo, se prosiguió con la pos-clasificación de los tres mapas temáticos, este proceso se realizó con ayuda de imágenes satelitales obtenidas de Google earth correspondientes a 2005 y 2016. Para el mapa de 1998 se contó con ortofotos correspondientes a 1995 proporcionadas por el INEGI. Se realizó una rodalización en la cual se agregaron tres nuevas clases: suelo desnudo, asentamientos humanos y áreas de cultivo. Posteriormente se remuestrearon los tres mapas a un tamaño de pixel de 3m x 3m y se agregaron los rodales a los mapas temáticos. Por último, se delimitó la zona de estudio desde el Estero Boca vieja hasta playa La Entrega.

### Análisis espacial de cobertura del manglar.

*Área:* El área de cobertura arbórea se define como el área cubierta por la proyección de las copas de los árboles sobre el terreno y sirve para medir la densidad de un bosque en fotografías aéreas (De la Vega y Ramírez, 2010).

Se obtuvieron las áreas de los fragmentos de manglar en Arc Gis en hectáreas; utilizando la siguiente fórmula:

$$A = \frac{9(Np)}{1000}$$

Donde:  
A= Área en hectáreas  
9= Valor en m<sup>2</sup> de la medida de un pixel  
Np= Número de pixeles pertenecientes a la clase de manglar

*Tasa de cambio:* Con las áreas obtenidas se calcularon los cambios a través de tres periodos de tiempo en la extensión de la cobertura de los manglares en el PNH y su área de influencia. Se utilizó la fórmula estandarizada propuesta por Puryravaud (2003), misma que es aceptada por la FAO.

$$r = \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \right] \left[ \ln \frac{S_2}{S_1} \right]$$

Donde:  
r = Tasa de cambio  
t<sub>1</sub>= Tiempo inicial  
t<sub>2</sub>= Tiempo final  
S<sub>2</sub>= Superficie de la clase en el tiempo final  
S<sub>1</sub>= Superficie de la clase en el tiempo inicial

Los resultados positivos de la tasa de cambio indican ganancia en la cobertura, mientras que valores negativos revelan pérdida de la cobertura forestal (CONABIO, 2013).

*Pérdida anual en superficie:* Los cambios referentes a pérdida o ganancia de cobertura en un año pueden ser analizados mediante la siguiente ecuación (Díaz-Gallegos, *et al.*, 2008):

$$P_a = \frac{(S_2 - S_1)}{t}$$

Donde:  
P<sub>a</sub>= Pérdida anual en superficie  
S<sub>1</sub>= Superficie en el tiempo 1  
S<sub>2</sub>= Superficie en el tiempo 2  
t = Periodo de tiempo analizado

Los resultados positivos se interpretan como ganancias de área en un año y los resultados negativos como pérdida de cobertura.

## Resultados y Discusiones

### Mapas temáticos y evaluación de la incertidumbre para los años 1998, 2005 y 2016:

Para la Imagen Landsat 5 correspondiente al año 1999 se obtuvo una precisión general de 78.57% y un índice Kappa de 0.68 (**Tabla 4**), por lo tanto la clasificación tiene una considerable fuerza de concordancia de acuerdo a lo asignado por Landis y Koch (1977). En el caso de la clasificación de la imagen Landsat 7 para el año 2005, se obtuvo una precisión general de 82.14% siendo la más alta de las tres clasificaciones, el valor del índice Kappa fue de 0.74 demostrando una concordancia considerable para su clasificación (**Tabla 4**). Finalmente, la clasificación de la imagen Landsat 8 correspondiente a 2016 obtuvo una precisión general de 78.57% y un índice Kappa de 0.65, alcanzando también un nivel de concordancia considerable para la clasificación supervisada. Los tres mapas temáticos resultantes de la post-clasificación se pueden observar en la **Figura 3**.

**Tabla 3. Precisiones generales y valores del índice Kappa obtenidos en la validación de los mapas temáticos.**

	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
<b>Precisión general</b>	78.57%	82.14%	78.57%
<b>Índice Kappa</b>	0.68	0.74	0.64

### Análisis espacial de cobertura total del manglar en Huatulco.

Los cambios en el área de los manglares brindan información de sus tendencias en Huatulco a través de 18 años. En la **Figura 4** se observa que la extensión total de los manglares en la zona de estudio disminuyó de 136.764 ha en 1998 a 115.351 ha para 2016. Se puede observar que el área de manglar presente dentro del PNH es menor que el área registrada en la zona de influencia (**Figura 5**). Esto no puede relacionarse al estado de conservación del manglar en el PNH, ya que sus sitios son muy pequeños a comparación de los sitios en la zona de influencia. Sin embargo, un resultado preocupante es que para 2016 el PNH ha perdido 5.548 ha, lo que representa el 60% del área de manglar observada en 1998. En el caso del área de influencia, se registró una pérdida de 13.887 ha de manglar, correspondientes a un 11% del total de área registrada hace 18 años (**Figura 5**).

Los sitios con mayor área de manglar en 1998 fueron La Salina y Boca vieja, con 75.147 ha y 41.337 ha respectivamente. En 2005, La Salina contaba con 66.348 ha y Boca vieja con 47.459 ha; registrando finalmente 62.711 ha y 45.234 ha respectivamente en 2016 (**Figura 6**). Los cambios en el área representan ganancias y pérdidas en la cobertura vegetal; sin embargo un índice puede brindar datos más específicos sobre los patrones de forestación y deforestación que se presentan en distintos periodos de tiempo (Puryravaud, 2003). En la **Tabla 4** se muestran las tasas de cambio en el área de los manglares en la zona de estudio, también se hace una comparación de las tasas de cambio entre el PNH y su área de influencia, así como en cada uno de los sitios en los que se realizó la investigación. Se

eligieron tres periodos de tiempo, el primero de siete años que comprende de 1998 a 2005, el segundo es de 11 años de 2005 a 2016 y el último periodo comprende 18 años entre 1998 y 2016.

De manera general se encontró que en la costa de Huatulco se perdieron 13.982 ha de manglar durante el periodo de 1998 a 2005 (**Figura 4**), esto representa una pérdida anual de 0.408 ha y la tasa de cambio fue de -0.015. Durante el periodo entre 2005 y 2016 se perdieron 0.676 ha por año. La comparación de los cambios en la cobertura en PNH y su área de influencia muestra que el área de esta última tiene una tasa de cambio menor (-0.008) que la del PNH (-0.127) para el periodo de 1998-2005 (**Figura 5 y, Figura 8**). Este hecho es de relevancia, ya que los manglares dentro del parque legalmente presentan mayor protección; sin embargo, existen acciones comunitarias de manejo en varios de los manglares del área de influencia, por ejemplo reforestación en La Salina y Boca Vieja.

La tasa de cambio ha sido mayor dentro del PNH durante 18 años; sin embargo, debido a las variaciones en el relieve que presentan sus bahías, la cobertura de manglar es mayor en el área de influencia. Durante el periodo de 1998-2005 hubo mayor pérdida en el PNH, esto coincide con el periodo de tiempo desde su instauración hasta la implementación del plan de manejo. Esto correspondería a lo que en el ambiente de conservación se conoce como una “Área Natural Protegida de papel”, la cual no es operacional debido a la falta de personal y de líneas estratégicas de acción para su conservación y manejo. Para el período comprendido entre 2005 y 2016, la tasa de cambio representó pérdidas de cobertura mayores en el área de influencia; es en este segundo periodo cuando el PNH cumple 18 años de instauración y 11 años de funcionamiento, lo que pudiera explicar que la tasa de disminución de cobertura de manglar haya bajado después de 2005. Aunado a ello, en 2007 entró en vigor la prohibición a la tala de manglar que ha coadyuvado a nivel nacional a la desacelerar la tasa de deforestación (DOF, 2013b). Sin embargo, nuestras observaciones personales (Hinojosa-Arango y Vasquez-Suate, pers. obs.) apuntan a que otros fenómenos sociales, como el abandono del campo, la migración, la concientización de las comunidades, así como la participación activa de la sociedad en actividades de conservación y reforestación del manglar pueden influir substancialmente en la disminución de la deforestación en la región.

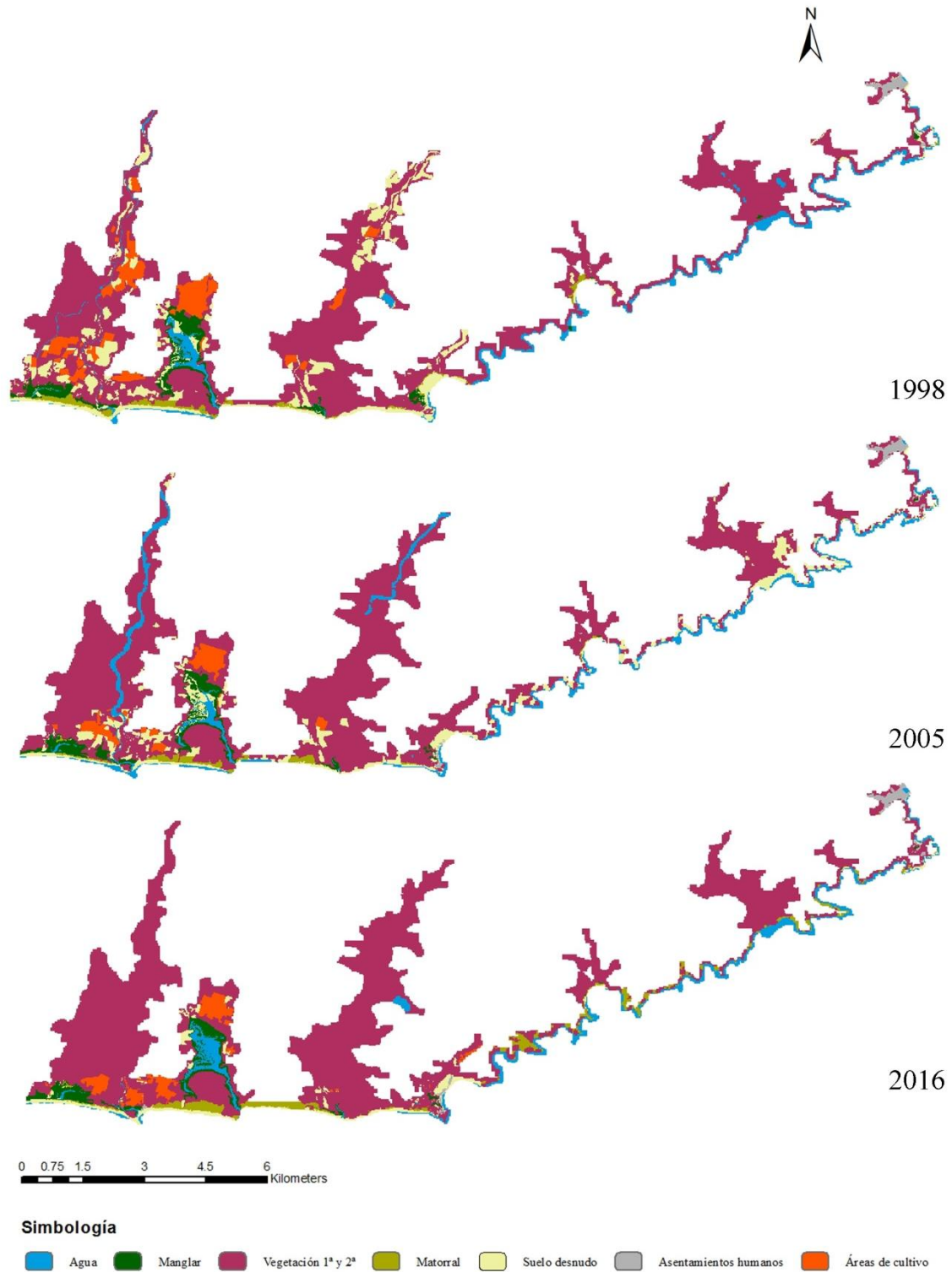


Figura 3. Mapas temáticos obtenidos mediante clasificación supervisada (se omitió la postclasificación de los mapas de 2005 y 2016 en las partes altas de la cuenca, ya que no forma parte del área de estudio).

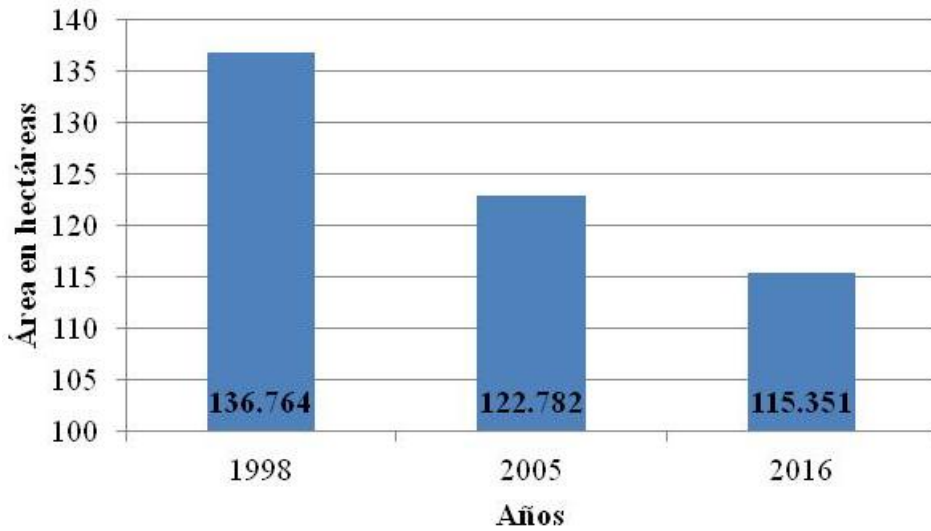


Figura 4. Área de los manglares en la costa de Huatulco calculada a partir de los mapas temáticos para tres años que en conjunto representan un periodo de 18 años.

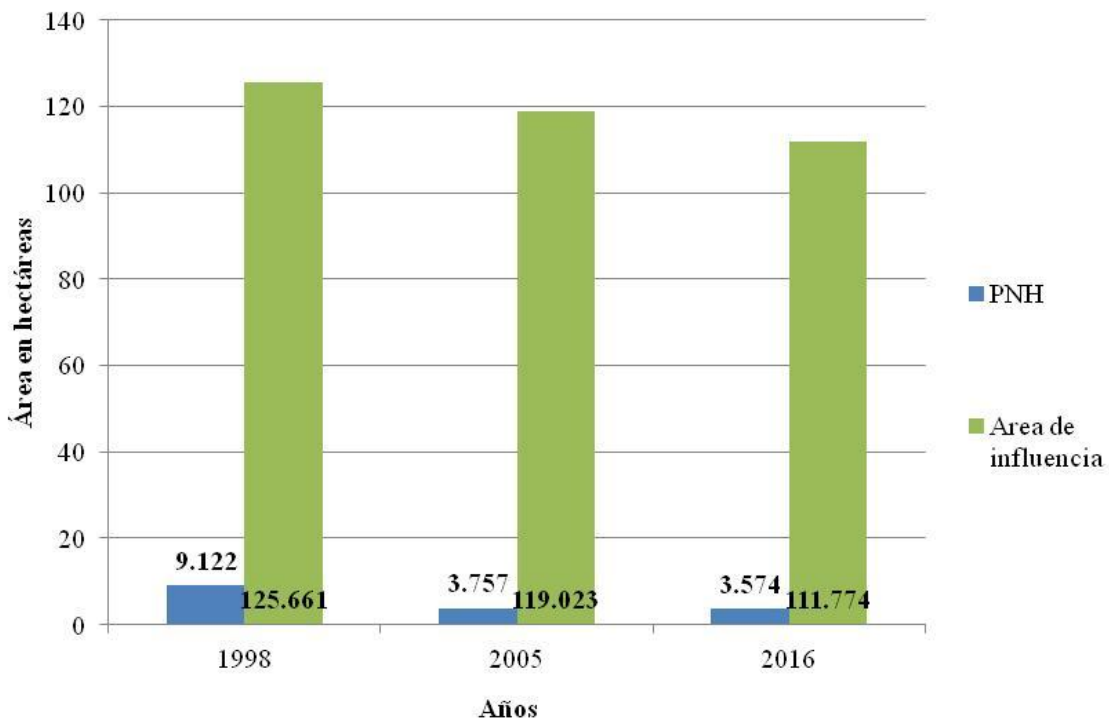


Figura 5. Comparación del área de los manglares dentro del PNH y su área de influencia para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.

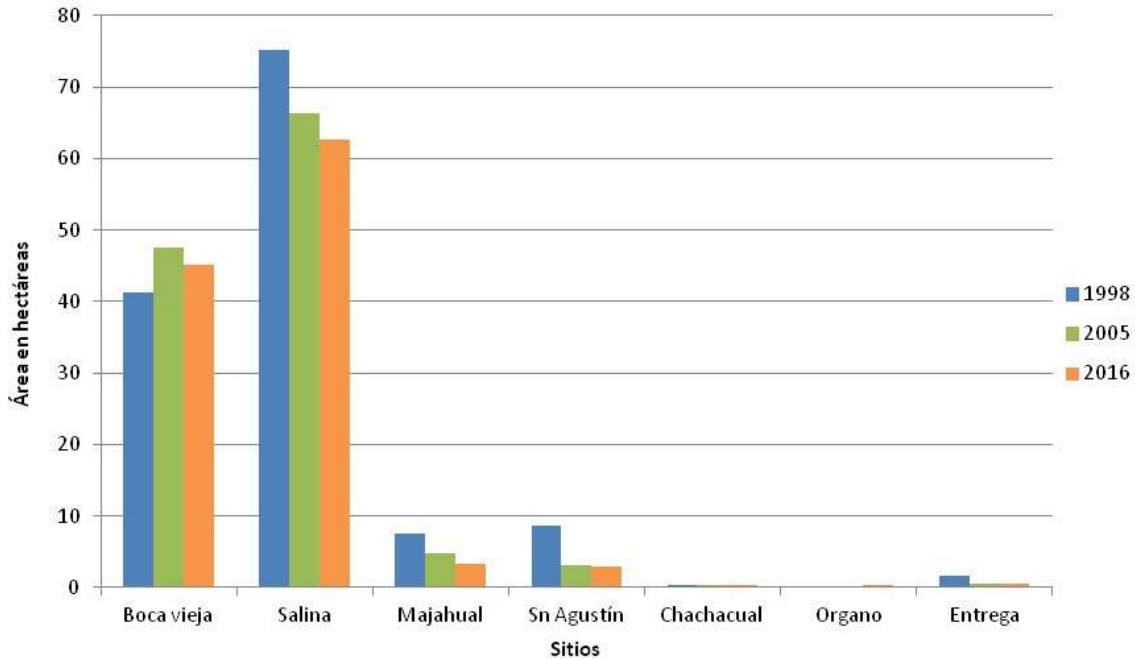


Figura 6. Área de los manglares presentes en los 7 sitios de estudio del Parque Nacional Huatulco (SanAgustín, Chachacual, Órgano y Entrega) y su área de influencia (Boca Vieja, Salina y Majahual).

Tabla 4. Tasas de cambio en el área del manglar ordenados por importancia de mayor incremento y mayores pérdidas de cobertura para el periodo de 18 años. Los números positivos indican ganancia de área, mientras que los negativos representan pérdidas.

	1998-2005	2005-2016	1998-2016
Costa de Huatulco	-0.015	-0.006	-0.009
PNH	-0.127	-0.005	-0.052
Área de influencia	-0.008	-0.006	-0.007
Órgano	0.011	0.033	0.024
Boca vieja	0.0197	-0.004	0.005
Entrega	-0.160	0.001	-0.062
San Agustín	-0.144	-0.008	-0.061
Majahual	-0.068	-0.032	-0.046
Chachacual	0.055	-0.003	-0.019
Salina	-0.018	-0.005	-0.010



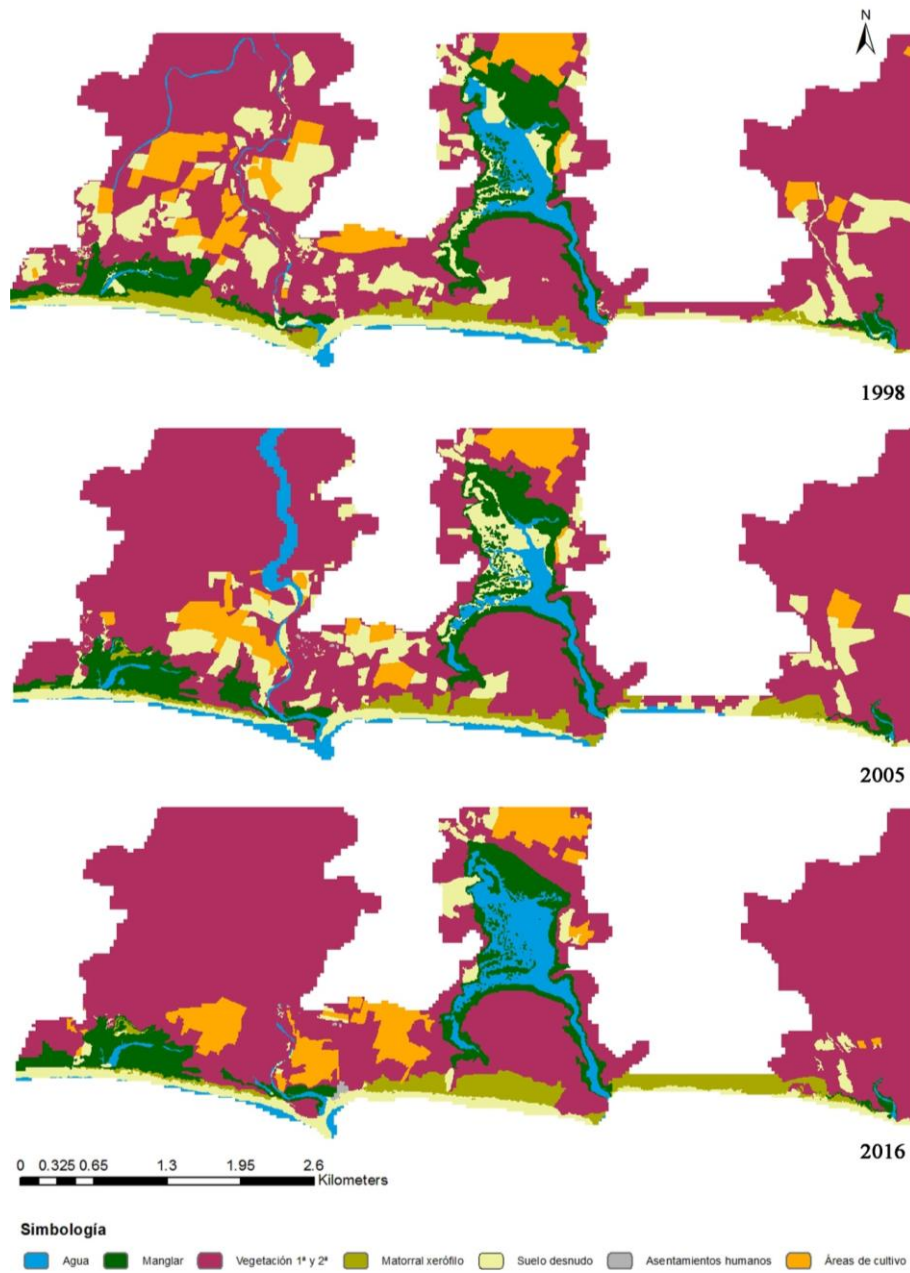
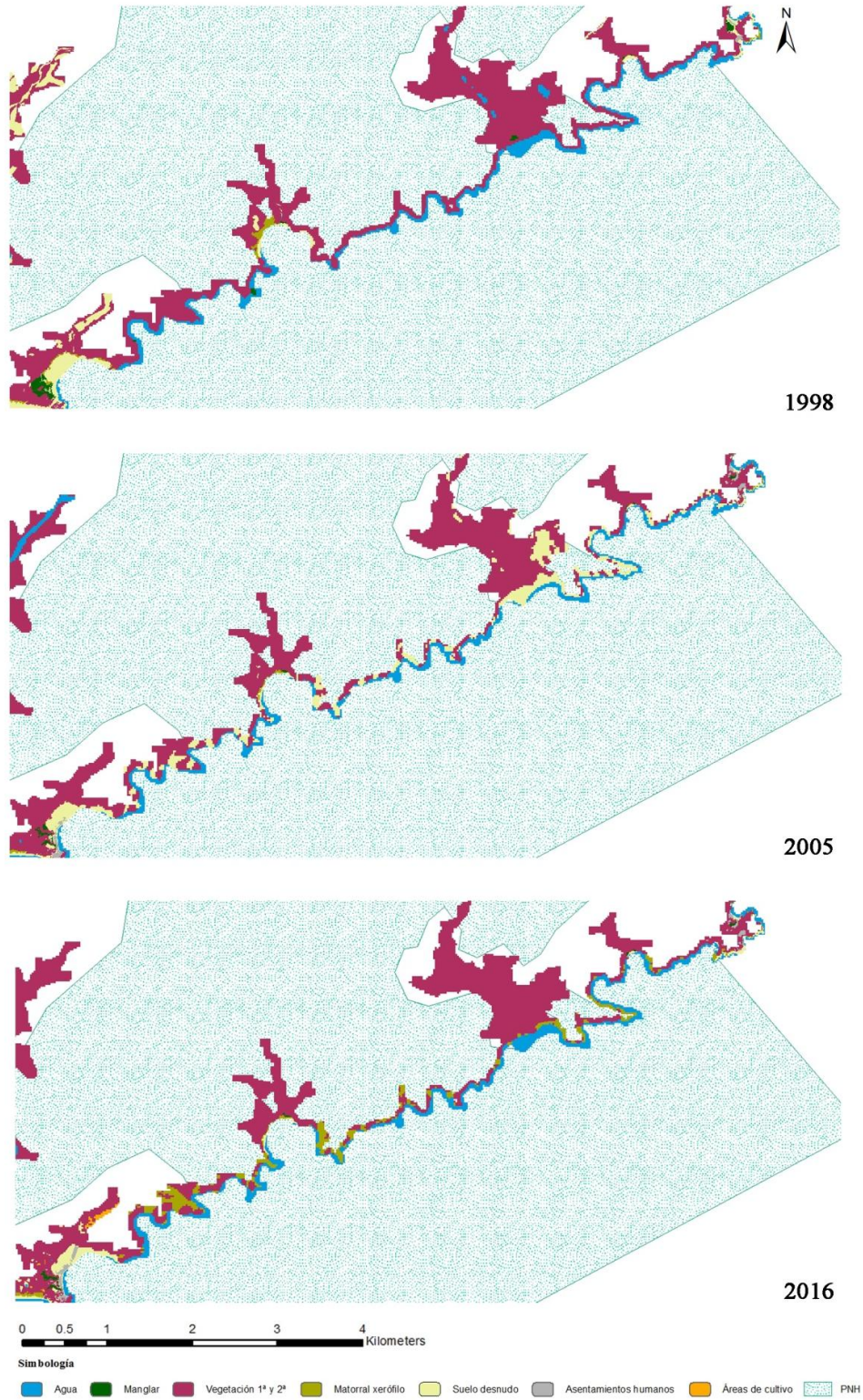


Figura 7. Mapas temáticos correspondientes al área de influencia del Parque Nacional Huatulco para un periodo de 18 años (1998-2016).

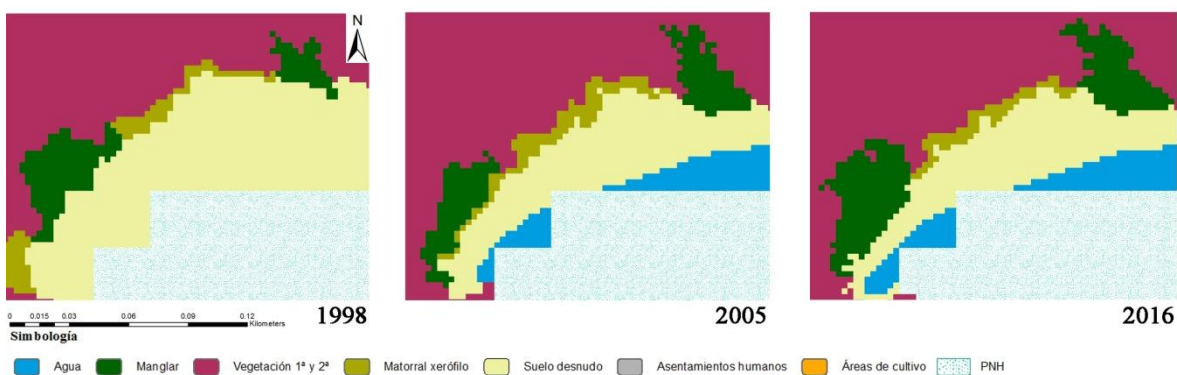


**Figura 8. Mapas temáticos correspondientes a los sitios de manglar estudiados dentro del PNH para un periodo de 18 años (1998-2016). El polígono marcado en azul celeste corresponde a las porciones terrestres y marinas del PNH.**

### *Sitios de manglar con incrementos en cobertura:*

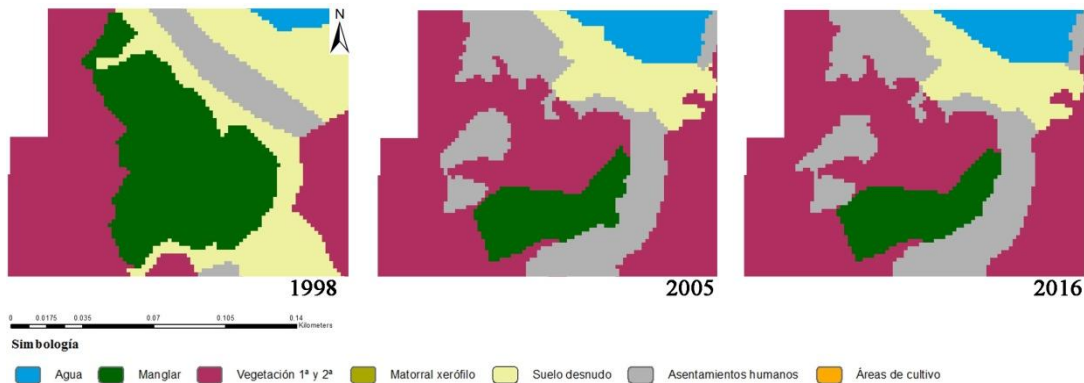
Tres sitios presentaron incrementos netos en el área de manglar. El primero fue bahía El Órgano, que a pesar de ser el sitio con menor área en 1998 (0.206 ha), incremento su área a 0.222 ha en 2005 y 0.320 ha en 2016, resultando en una tasa neta de incremento de 0.24. El Órgano presentó un aumento total de 0.098 ha al final de los 18 años estudiados. El segundo sitio con aumento fue playa La Entrega con una tasa neta de incremento de 0.19, seguida de Boca vieja con una tasa de 0.005 (Tabla 4).

El único sitio que mostró incrementos durante los dos periodos fue El Órgano, el cual se encuentra dentro del PNH (Figura 9). El aumento en el área de manglar fue de 0.002 ha al año entre 1998 y 2005 (tasa de 0.011), mientras que para el segundo periodo la cobertura de manglar se incrementó en 0.009 ha al año, mostrando una tasa mayor de 0.033 (Tabla 4, Figura 6).



**Figura 9.** Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a bahía El Órgano para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.

En bahía la Entrega ocurrió un decremento de área de 1.634 a 0.532 ha a razón de 0.157 ha por año entre 1998 y 2005 (Figura 10). La tasa de cambio muestra que la pérdida de cobertura tuvo un valor de -0.160; posteriormente hubo un ligero incremento de 0.532 ha a 0.540 ha de 2005-2016, aumentando 0.001 ha al año (tasa de 0.001). En el periodo de 18 años, la tasa de cambio se mantiene negativa mostrando la pérdida de cobertura (Tabla 4, Figura 6). En el último periodo de tiempo el área ha incrementado; sin embargo, es poco probable que este sitio llegue a presentar un incremento importante en su cobertura. Como se observa en la Figura 10, este manglar está presionado por asentamientos humanos y tiene solo un canal de conexión con la playa, cabe destacar que este ducto se azolva periódicamente por lo que el intercambio de agua marina no siempre es posible. Lo anterior sería una limitante ambiental para el crecimiento y reproducción de los manglares (Ball, 1980).



**Figura 10. Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a bahía La Entrega para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.**

La tasa de cambio de 0.0197 para Boca vieja indicó un incremento de área de 6.122 ha en el periodo de 1998-2005 (Tabla 4, Figuras 6 y 11). En este periodo, una franja de matorral fue sustituida por manglar al Oeste de la boca-barra y al noroeste el manglar sustituyó la vegetación secundaria. Sin embargo, en el siguiente periodo perdió 2.225 ha a una velocidad de 0.202 ha al año y con una tasa de cambio de -0.004. A pesar de esta pérdida, existe un balance positivo en la tasa de cambio para los 18 años que comprende el presente estudio.

La comparación de los mapas temáticos de 1998 y 2005 para Boca vieja, muestran un incremento inicial de manglar y menos áreas de cultivo adyacentes. No obstante, en el periodo de 2005 a 2016 el manglar disminuye en aquellos sitios donde aumentó durante el primer periodo de análisis, debido principalmente al incremento de zonas de cultivo adyacentes al manglar durante 2007 (Figura 11). Como se observa en las imágenes, los cultivos sustituyeron vegetación secundaria cercana al oeste y noroeste de la boca-barra a una distancia de 60 a 100 metros del manglar. De 2012 a 2016 algunas de estas zonas de cultivo disminuyeron en área, debido, muy probablemente al abandono de las mismas. Esta dinámica en el cambio de uso de suelo coincide con la pérdida de área de manglar después de 2005, y se puede observar que la cobertura registrada entre 2005 y 2016 se encuentra ubicada en los sitios que, como muestran las imágenes satelitales y mapas temáticos, conservan mayor humedad y concentración de agua. Esta humedad ha sido reportada como esencial para la subsistencia de manglar y otras especies de humedales, siendo la zona de borde donde se presentan condiciones adversas debido a la evaporación (Navarro, *et al.*, 2015).

La fragmentación de la vegetación adyacente a los manglares, debido principalmente a la deforestación y clareo para áreas de cultivo (*obs. in situ*), y sucesión resultante de dicha perturbación, podrían provocar un efecto de borde sobre el manglar que afecta su extensión. La vegetación que se desarrolla en estas zonas perturbadas tiene la suficiente tolerancia fisiológica para resistir suelos arenosos, falta de nutrientes y agua, compitiendo exitosamente y desplazando en muchos de los casos a las especies de manglar (Navarro, *et*

al., 2015). Este planteamiento se fundamenta en que estos investigadores reportaron que el efecto de borde resulta en cambios en la evapotranspiración, lo que puede resultar en cambios en la abundancia y distribución de especies vegetales por la modificación de las condiciones físicas cercanas al borde. Además, pueden ocurrir cambios en la interacción de las especies aumentando la susceptibilidad a depredadores, plagas y enfermedades e incluso competencia con especies que sean más eficientes en el aprovechamiento del agua o resistentes a la sequía. En este caso, la colonización de especies ajenas al manglar dependería de la distancia de los bancos de semillas y los factores ambientales que pudieran ocasionar un descenso en la población vegetal original (Navarro, *et al.*, 2015).

De acuerdo a nuestras observaciones, Boca vieja no sería el único sitio afectado por el efecto de borde, La Salina, San Agustín y La Entrega también presentan patrones similares causados por cambios en el uso de suelo y actividades económicas que se realizan en sus cercanías, destacando la pesca y el turismo (convencional, de aventura y ecoturismo) (Rivera, 2011).

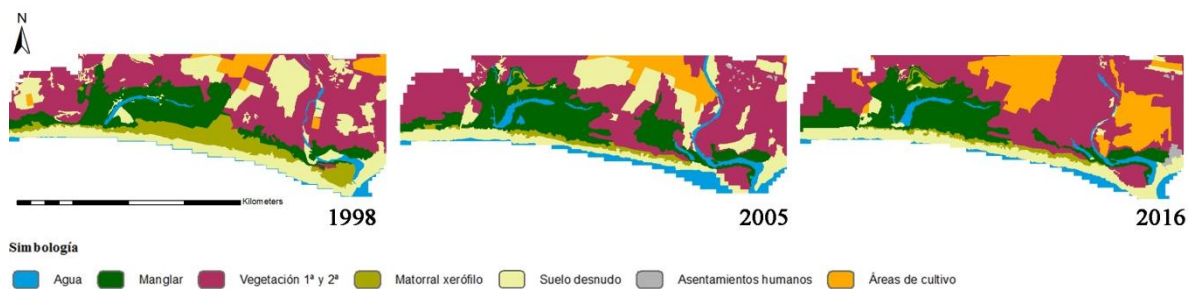


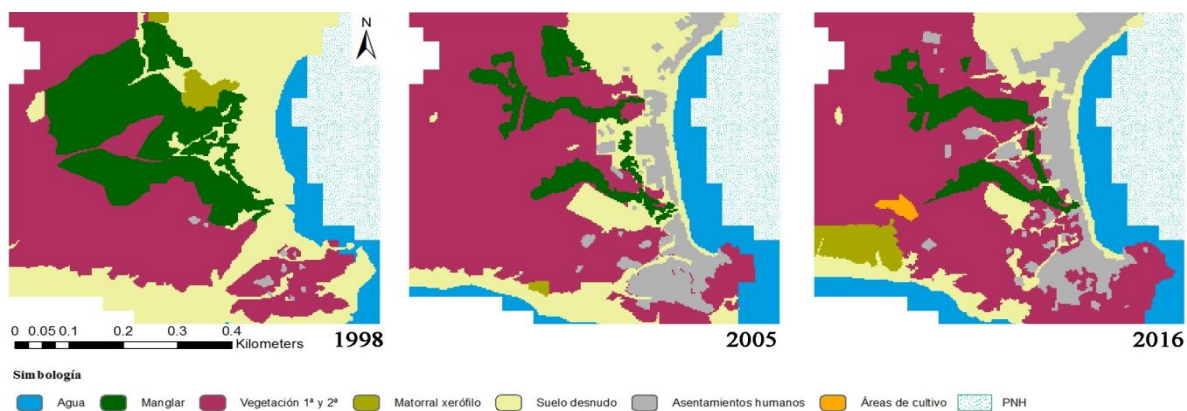
Figura 11. Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a Boca vieja para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.

#### *Sitios con pérdida de cobertura de manglar:*

El sitio que tuvo mayor pérdida de cobertura en el primer periodo fue San Agustín (**Figura 12**), ya que se deforestaron 2.859 ha de manglar a razón de 0.786 ha por año (tasa de cambio de -0.144). En el segundo periodo la tasa de cambio disminuyó a -0.005 pero nuevamente representó pérdidas de 0.024 ha al año (**Tabla 4, Figura 6**). La deforestación en San Agustín se debe al cambio de uso de suelo para asentamientos humanos y establecimientos de servicios turísticos en zonas inundables; varias zonas han sido taladas y rellenadas alterado el curso natural del agua (obs. *in situ*). Se ha documentado que existe una relación directa entre la hidrología superficial con la población humana que la rodea, ósea que las poblaciones que se encuentren cerca de los cauces de agua ejercerán mayor presión sobre la vegetación cercana, esto a su vez determinará el uso y deterioro de las cuencas o subcuencas (Rivera, 2011).

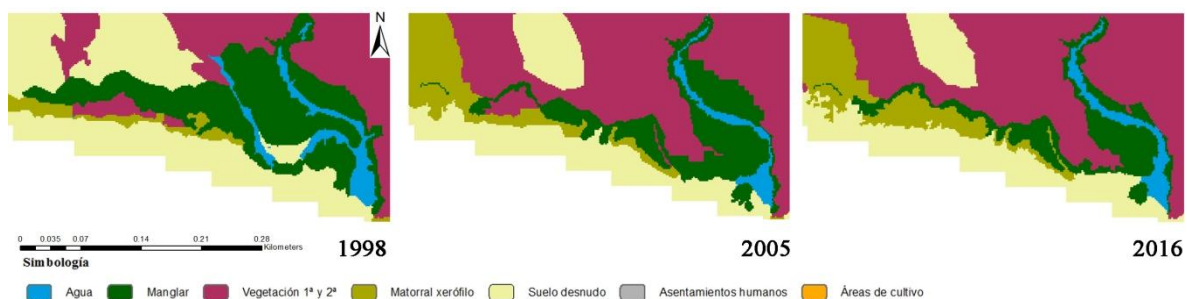
Cabe destacar que en San Agustín existen dos sitios que han conservado la cobertura de manglar o incluso ha aumentado, estos puntos tienen presencia de agua a lo largo de todo

año proveniente de descargas residuales. La calidad de esta agua es mala y va disminuyendo conforme avanza la época de sequía; sin embargo, la presencia de agua rica en materia orgánica podría propiciar el incremento de cobertura y la permanencia del manglar. No obstante, esto no significa que cumpla sus funciones ecológicas como sitios de crianza de peces, crustáceos y moluscos, así como sitio de alimentación de diversas especies. Lamentablemente, la zona terrestre de San Agustín ya no forma parte del PNH por lo que la cobertura de manglar ha seguido disminuyendo. Este proceso pudiera ser exacerbado por el alto nivel de estrés generado por el desarrollo urbano (Rivera, 2011).



**Figura 12. Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a Bahía San Agustín para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.**

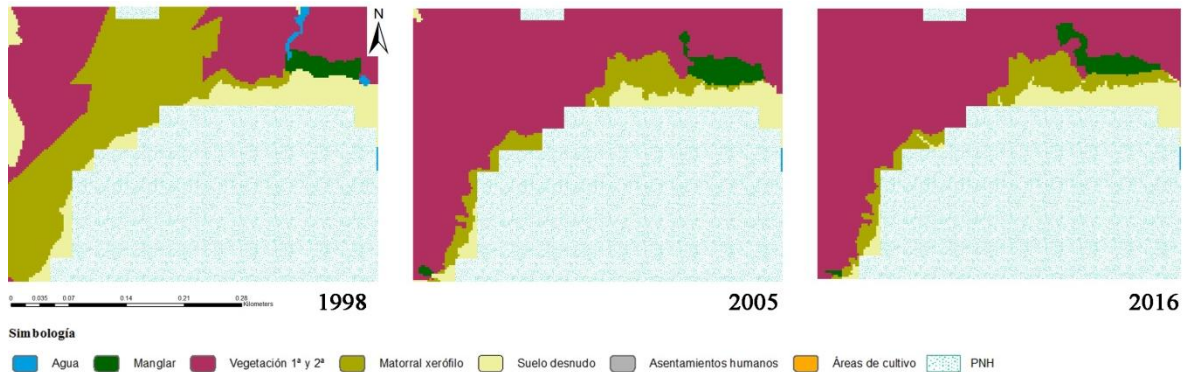
En el estero Majahual la mayor pérdida en cobertura de manglar se dio en el periodo de 1998-2005, se calculó una tasa de cambio de  $-0.068$  que resultó en una pérdida de  $0.408$  ha al año (**Figura 13**). En este lapso de tiempo incrementó la cobertura de vegetación secundaria en áreas que eran de manglar, se observó que el manglar fue sustituido por matorral xerófilo que se caracteriza por tolerar bajas cantidades de nutrientes y agua (Martínez y Valverde, 1992). A pesar de ello, los manglares presentes en la zona mostraron árboles de tamaños considerables y saludables.



**Figura 13. Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a estero Majahual para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.**

Debido a su aislamiento, Chachacual tiene su propia dinámica energética, carece de lluvias constantes por lo que el mar y el viento aportan la humedad (CONANP, 2003). Se puede

observar que la vegetación secundaria sigue sustituyendo al manglar en los bordes de los fragmentos (**Figura 14**) y que el manglar que persiste se encuentra asociado a suelos inundables que tienen la suficiente profundidad para conservar agua el resto del año. Este sitio no recibe influencia directa de impactos antrópicos, sin embargo, se puede observar en los mapas temáticos que de 2005 a 2016 existe un flujo intermitente de agua que proviene de la cuenca del río Cuajinicuil. Este río se encuentra en un estrés hídrico medio debido a los cambios en el uso de suelo y actividades productivas, incluyendo la agricultura (Rivera, 2011).

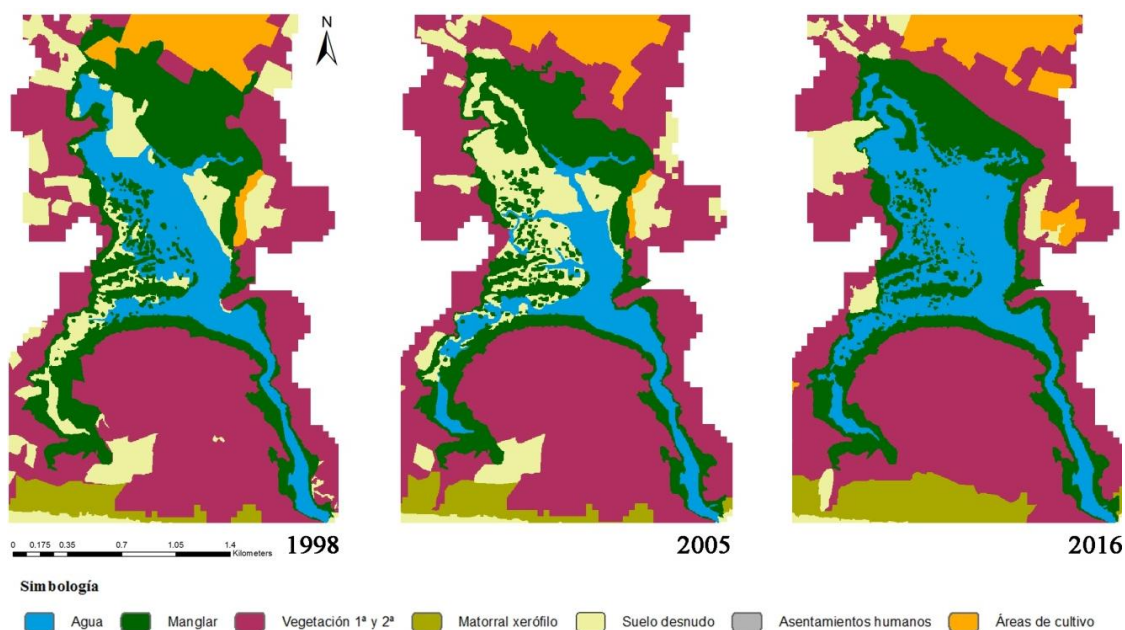


**Figura 14. Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a Bahía Chachacual para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.**

Los manglares de la Salina presentaron una tasa de cambio (-0.018) que indicó la pérdida de área a razón de 1.257 ha por año entre 1998 y 2005 (**Figura 15**). Entre los años 2005 y 2016 la pérdida disminuyó; sin embargo, de las 66.348 ha que quedaban en 2005 se perdieron 3.637 ha. Durante el lapso de 18 años la tasa de cambio fue de -0.0061 indicando que la tendencia en pérdida de manglar se mantuvo durante todo el periodo (**Tabla 4, Figura 6**).

Las pérdidas en el área de manglar en laguna La Salina han disminuido, pero siguen existiendo. En el mapa correspondiente a 1998 al norte se ubica un área de cultivo que colinda con el manglar y para 2006 el parche de manglar en el norte cambia de forma tomando un borde más lineal (**Figura 10**). Como se describió anteriormente, esto podría deberse al efecto de borde y a la falta de agua. En los recorridos de la laguna se pudieron observar varios individuos de mangle muertos, las causas de la muerte según algunos pobladores (pescadores y prestadores servicios turísticos) se deben a la falta de agua, eutroficación y azolvamiento de la boca-barra. Esta laguna han presentado cambios recurrentes en la coloración del agua que se ha tornado rosada, debido probablemente a un aumento temporal de fitoplancton. Esto se ha atribuido al escurrimiento de agroquímicos utilizados en los cultivos cercanos y cuenca arriba (Galán-Cisneros, 2016). Sin embargo, el impacto a largo plazo en los manglares no puede ser determinado debido a que se carecen de los estudios pertinentes que determinen la salinidad, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo e incluso estudios de fitoplancton. Algunas de las actividades más importantes que

ha favorecido el crecimiento de manglar en algunas de las zonas de la laguna han sido promovidas por CONANP; a través del Programa de Empleos Temporales (PET) se ha realizado el clareo de árboles secos o muertos por parte de un grupo de mujeres de la comunidad, que ha permitido que nuevos individuos se establezcan y tengan suficiente espacio y luz para restaurar la cobertura de manglar de la zona (obser. *insitu*).



**Figura 15. Mapas temáticos del cambio en área de manglar que corresponden a laguna La Salina para el periodo comprendido entre 1998 y 2016.**

Una constante observada durante el presente estudio es que varios de los sitios presentan una falta de aporte de agua epicontinental (Majahual San Agustín, Chachacual y La Entrega); ya que se encuentran asociados a valles intermontanos que son los principales sitios de recarga hídrica. Estos caudales abastecen el desarrollo turístico Bahías de Huatulco y las zonas agrícolas de riego (Escalona, *et al.*, 2013); situación que pone en riesgo la permanencia de los manglares y sus funciones ecológicas, debido al incremento población y el consecuente aumento en la demanda del recurso hídrico.

En general, los procesos que pudieron haber causado la pérdida de cobertura de manglar en la zona de estudio no son solo el resultado de acciones humanas directas, los cambios en el régimen de lluvias, que resulta en la baja disponibilidad de agua, también tiene un efecto negativo en la supervivencia de algunos individuos de mangle. Por ejemplo, en 2002 y 2004 ocurrió el fenómeno de “El niño”, que se caracteriza por sequías en el sureste de la República Mexicana; mientras que entre 2014 y 2016 se ha registrado en la zona de estudio un comportamiento anormalmente seco (CONAGUA y PRONACOSE, 2014), que de acuerdo a los modelos de predicción de Cambio Climático, se volverán de mayor intensidad y serán más frecuentes (Harvey, *et al.*, 1997; Mckee, *et al.*, 2012; Yáñez-Arancibia, *et al.*, 2014).



Algunos autores coinciden otro factor preocupante es el aumento en el nivel del mar, ya que muy probablemente los manglares comenzarán a distribuirse tierra adentro, siempre y cuando sus límites topográficos no sean excedidos (hasta los 15 m.s.n.m.), las condiciones del suelo lo permitan o que no encuentren especies competitivas más exitosas o barreras antrópicas (Field, 1996; Gilman, *et al.*, 2008; Kjerfve y Macintosh, 1997; Uribe y Urrego, 2009; RAMSAR, 2010). Bajo estas circunstancias, los manglares de Huatulco podrían estar en alto riesgo debido al abrupto cambio en la pendiente que presenta su zona costera y el suelo rocoso que la domina. Este acelerado aumento de altura y la falta de un sustrato adecuado no permitirían que los manglares desplacen su distribución, lo cual amenaza de manera alarmante su permanencia en el futuro.

Aunado a este complicado panorama de afectaciones por acciones humanas directas e indirectas, debemos mencionar la amenaza que representan especies invasoras, plagas y enfermedades. En Boca vieja, La Salina y Majahual, se encontró una especie de hongo Ascomiceto, el cual fue colectado por nosotros y posteriormente identificado como *Cytospora rhizophorae* por la Dra. Rosario Medel de la Universidad Veracruzana. Esta especie ha sido documentada como un patógeno facultativo para *R. mangle* en Puerto Rico, donde la transmisión se da en heridas presentes en las raíces y troncos, parece estar relacionada con estrés salino y ha provocado una mortandad importante (Wier, *et al.*, 2000; Saenger, 2002). En nuestro trabajo de campo fue observado en árboles de las tres especies de mangle reportadas para la región, *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa*, por lo que es de vital importancia monitorear estas zonas para determinar el grado de riesgo en el que se encuentran.

## Conclusiones

- A nivel de paisaje se manifiesta que la tendencia a la baja en la cobertura que se ha presentando en los bosques de manglar de México es también evidente en la zona de Santa María Huatulco.
- El área de manglar es mayor en la zona de influencia en comparación con el mangle presente dentro del PNH. La topografía de las bahías dentro del PNH (valles intermontanos) limitan la extensión de los manglares; el PNH fue decretado con la prioridad de proteger los ecosistemas de arrecife coralino y selva baja caducifolia sin considerar los bosques de manglar. No obstante, los manglares dentro del parque tienen alta importancia ecológica a pesar de su poca extensión.
- Las tasas de cambio muestran que la pérdida de manglar en el periodo 1998-2005 fue mayor (excepto para el Órgano y Boca vieja que mostraron tasas de cambio positivas); posteriormente, se observan una disminución en la deforestación durante el periodo de 2005- 2016.
- El decreto de creación del PNH en 1998 y la puesta en marcha del plan de manejo del mismo en 2005 ha ayudado a reducir la pérdida de cobertura del manglar, sin embargo sigue existiendo una tendencia general a la pérdida de la cobertura de manglar hasta 2016.
- Existen tres sitios con incrementos de cobertura de manglar, El Órgano, La Entrega y Boca Vieja, lo cual representa un avance significativo para revertir la deforestación y consecuente pérdida de los servicios ambientales asociados a ellos.
- Se identificaron como posibles amenazas para el manglar en la zona: La fragmentación, efectos de borde, las sequias prolongadas, el carácter de la hidrología local, la alteración de los flujos de agua, los cambios en el uso de suelo y eutroficación.
- Un caso particular es la permanencia y aumento de la cobertura del manglar en San Agustín, mismas que no necesariamente están relacionadas con la buena salud del ecosistema. En este caso, los aportes de agua residual de los hogares en las cercanías podría estar favoreciendo a los manglares sin proveer los servicios ecosistémicos como sitios de crianza y de alimentación de otras especies, principalmente acuáticas.
- El cambio climático es un factor importante a considerar si se quieren realizar acciones de manejo; ya que los manglares de Huatulco podrían verse

comprometidos debido a la orografía de la costa de la región conforme los efectos del cambio climático se vayan haciendo más presentes.

## **Recomendaciones**

1. Dar continuidad al análisis de cambios de cobertura del manglar, además recomendamos realizar el análisis por separado para los años entre 1998-2005 y 2005-2016 para tener un mejor entendimiento de cuál ha sido la historia del paisaje. Esto también permitiría comprender la dinámica de cambios e identificar factores clave (cambios en el uso de suelo, fenómenos climáticos, efectos de borde, fragmentación, presencia de flujos de agua) para realizar un manejo y restauración adecuados de los manglares.
2. Para los sitios fuera del PNH es necesaria una capa de protección aparte del nombramiento de sitio RAMSAR, ya que son sitios de mayor extensión en los cuales las comunidades presentes juegan un papel importante en su protección, restauración y mantenimiento. La capacidad del PNH para resolver conflictos sobre el uso de suelo y búsqueda de alternativas para todos los sectores productivos de estos sitios será fundamental para llegar a acuerdos y a un manejo exitoso. Los manglares son afectados por las actividades desarrolladas cuenca arriba, por lo que la formación de redes de apoyo entre distintos tomadores de decisiones es necesaria.
3. El plan de manejo del PNH deberá adaptarse a las condiciones sociales, económicas y ambientales que se vayan dando a través del tiempo, con la finalidad de que exista retroalimentación. La legislación actual marca que los planes de manejo deben de ser actualizados cada 5 años, sin embargo, el correspondiente a PNH no ha sido revisado desde su implementación en 2005.
4. Es necesario realizar jornadas de educación sanitaria y ambiental con diferentes sectores de las poblaciones en Bajos de Coyula y San Agustín; así mismo, es necesario cultivar la cultura del tequio para incentivar el sentido de pertenencia y así lograr involucrar a la población en la conservación y restauración de sus manglares y ambiente en general; el objetivo sería lograr involucrar a las comunidades en un manejo adaptativo y participativo.
5. En San Agustín será necesario restaurar el flujo de agua y reforestar para que exista conectividad entre los parches existentes. Con esta restauración se puede rescatar la cobertura de manglar y brindar valor escénico a la comunidad, de forma que sigan viviendo del turismo pero con base en el manejo comunitario participativo y la sustentabilidad.

6. Abrir nuevos campos de estudio referentes a los manglares como factores físico-químicos, organismos acuáticos, dinámicas hídricas, estudios topográficos, productividad, plagas y enfermedades, restauración, economía, aprovechamiento sustentable, nuevas técnicas de agricultura y fertilización de cultivos para evitar la eutroficación.
  
7. Llegar a acuerdos entre los usuarios y los tomadores de decisiones para la creación y puesta en marcha de planes emergentes que atiendan los riesgos ante el cambio climático, tomando en cuenta principalmente el aumento en el nivel del mar, el calentamiento global y el comportamiento del manglar y sus ambientes adyacentes.

# Capítulo Dos

**Caracterización de la avifauna asociada al manglar en  
Huatulco**

## Resumen

La riqueza y diversidad de especies son propiedades de las comunidades biológicas, el conocimiento detallado de estas es necesario para determinar su distribución y sus respuestas a las condiciones ambientales. Las aves son el grupo indicador por excelencia, que permite implementar estrategias de conservación y es por ello que en este capítulo medimos sus componentes de diversidad (Bojorges-Baños, 2011a; Navarro-Sigüenza, *et al.*, 2014). En este capítulo detallamos los resultados obtenidos de la caracterización de la avifauna asociada al manglar de Huatulco. Se realizaron seis conteos por puntos de radio fijo en siete sitios a lo largo de la costa de Huatulco, durante los meses de julio, septiembre y noviembre de 2016, y enero, marzo y mayo de 2017. Las curvas de acumulación de especies mostraron que hacen falta más visitas para obtener una muestra más cercana a la riqueza total de aves en cada sitio.

La diversidad se midió tomando en cuenta la estacionalidad de lluvias y secas en sus componentes  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  por números de Hill ( $\alpha=0$ ;  $\gamma$ : 0, 1 y 2;  $\beta$ : 0 y 2). Se registraron 117 especies durante el conteo por puntos, esto equivale al 40% de la avifauna que enlista el plan de manejo del PNH, siendo superior a la riqueza de aves reportada para otros ambientes dentro del polígono del parque. Nuestros resultados muestran la necesidad de la implementación de monitoreos constantes dentro del parque y su área de influencia, así como la actualización de los datos biológicos relacionados con la avifauna.

Con los datos obtenidos se apreció un aumento en la diversidad  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  durante la época de secas (enero, marzo y mayo de 2017), posiblemente atribuido a los cambios anuales que presentan los ambientes adyacente el manglar. Las migraciones de especies locales y neárticas podrían influir en los cambios de diversidad  $\beta$  durante la temporada de secas.

## Metodología

La riqueza y diversidad de especies son propiedades de las comunidades biológicas, el conocimiento detallado de estas es necesario para determinar su distribución y sus respuestas a las condiciones ambientales. Las aves son un grupo indicador por excelencia, que permite el diseño y la implementación de estrategias de conservación (Bojorges-Baños, 2011a; Navarro-Sigüenza, *et al.*, 2014), es por ello que en este capítulo medimos sus componentes de diversidad

### *Caracterización de avifauna*

El diseño para el conteo e identificación de aves fue preparado basado en el método de puntos de conteo de radio fijo para cada una de las 7 zonas de manglar consideradas en el presente trabajo (**Tabla 5**). Este método es de bajo costo y permite obtener información sobre composición, abundancia relativa y densidad, además permite estudiar cambios anuales en las poblaciones de aves, las diferentes composiciones específicas según el tipo de hábitat y los patrones de abundancia de cada especie. Así mismo, sirve para detectar especies raras y del dosel que no son fácilmente detectables por otros métodos de muestreo (Ralph, *et al.*, 1996; Villaseñor y Santana, 2002).

**Tabla 5.** Número de puntos en cada una de las Zonas de Estudio. En naranja: zonas en el Área de Influencia del Parque Nacional Huatulco (PNH). En verde: zonas dentro del PNH

Zonas de Estudio	Número de puntos de conteo
Estero Boca Vieja	14 puntos
Laguna La Salina	14 puntos
Estero Majahual-Arenal	14 puntos
Playa La Entrega	3 puntos
Bahía San Agustín	11 puntos
Bahía Chachacual	3 puntos
Bahía El Órgano	3 puntos

Los conteos fueron efectuados en los meses de julio, septiembre y noviembre de 2016, y enero, marzo y mayo de 2017. Estos se realizaron dentro del manglar a pie en seis sitios y en una canoa con remos en caso del Estero Majahual-Arenal. Los censos iniciaron al amanecer (generalmente 6:00 am) y duraron hasta medio día. Cada punto fue muestreado por un periodo de 5 minutos en un radio de 25 metros que es lo que Villaseñor y Santana (2002) recomiendan para hábitats de bosque, siendo lo más recomendable para una detección efectiva (Castillo-Guerrero, *et al.*, 2009). Los conteos fueron mediante registros visuales apoyados con unos binoculares marca bushnell y registros auditivos. Se tomaron en cuenta las especificaciones señaladas por Gibbons y Richard (2006), Villaseñor y Santana (2002) y Ralph *et al.* (1996), las cuales se listan a continuación:

- Los datos obtenidos durante los primeros 3 min deberán separarse de los registrados en el tiempo restante (Ralph, *et al.*, 1996).
- Las especies deben anotarse en el orden en que son detectadas. Para cada especie se anotaron separadamente los individuos detectados dentro y fuera del radio fijo, es decir, a menos o a más de 25 metros (Ralph, *et al.*, 1996).
- Si un ave huye en el momento en que el observador llega al punto de censado, deberá ser contada en el punto de partida. Las aves de paso que vuelen por encima del área sin detenerse fueron anotadas aparte en la hoja de datos (Ralph, *et al.*, 1996).
- Un ave detectada a menos de 25 metros del punto de censado cuando el observador se dirige o se aleja del punto, fue contada si ningún otro individuo de la misma especie se detecta durante el censo. Sin embargo es recomendable anotarla aparte (Ralph, *et al.*, 1996).
- En caso de detectar una bandada de aves, ésta podrá ser localizada al finalizar el periodo de censado para determinar su tamaño y composición exactas. La bandada no debe ser seguida por más de 10 minutos (Ralph, *et al.*, 1996).

El número de puntos fue determinado dependiendo del tamaño del manglar; resultando en sitios con 14 puntos de conteo y sitios con 3 puntos (**Tabla 5**). Los puntos fueron colocados al azar y en los sitios grandes su número queda dentro del rango de 9 a 16 puntos recomendado por Ralph *et al.* (1996); en el caso de Playa La Entrega, Bahía Chachacual y Bahía La Entrega se establecieron tres puntos debido a su poca extensión según las recomendaciones de Buckland *et al.* (2008).

La identificación de las aves observadas fue realizada con las guías de campo Aves de México de Peterson y Chalif (2000), Field Guide to the Birds of North America de National Geographic (2008), Peterson Field Guide to Birds of North America de Roger Tory Peterson (2009) y A Field Guide to the Birds of Mexico and Adjacent Areas de Ernest Preston Edwards y Edward Murrell Butler (1998). Durante el tiempo de observación se realizaron grabaciones de audio para cada punto con la finalidad de registrar el número máximo de especies en el tiempo definido. Las vocalizaciones de las aves se identificaron de acuerdo a las bases de datos en línea de Xenocanto. Las grabaciones pasaron a formar parte del acervo de la base de datos del Laboratorio de bioacústica del CIIDIR-Oaxaca.

Los datos del conteo de aves fueron asentados en la hoja de conteo por puntos de radio fijo basada en el modelo proporcionado por Ralph *et al.* (1996) (ANEXO II); en donde se registraron los siguientes datos:

- Fecha
- Estado: Se anotó para evitar confusiones con datos de otros lugares.
- Área: Se anotó si la zona se encuentra en el área de influencia o en el PNH.
- Zona: Se registró el nombre de la Zona
- Número de punto



- Número de visita
- Estación: Lluvias o secas.
- Observador: se anotó el nombre del observador que identificó y contó las aves para futuras aclaraciones.
- Tiempo: CUB (cubierto), más del 90% del cielo cubierto de nubes; NUB (nuboso), del 50 al 90% nublado; DIS (disipado), 10 al 50% de nubosidad; o DES (despejado), menos del 10% de nubosidad.
- Hora de inicio y hora de término: Hora en la que inició el conteo en el punto y hora a la que terminó el conteo en el punto.
- Especie: El nombre fue anotado con las tres primeras letras del género y las tres primeras letras de la especie seguido de un "I" si el ave es identificada visualmente o "T" si el ave fue identificada auditivamente.
- Distancia a la que se encontraba el individuo identificado:  $\leq 25$  m se anotó el número de individuos de una especie situados a una distancia menor a 25 metros. = 25 m se anotó el número de individuos de una especie situados a una distancia de 25 metros.  $\geq 25$  m se anotó el número de individuos de una especie situados a una distancia mayor de 25 metros. Los individuos observados durante los 3 primeros minutos del conteo en cada punto fueron registrados por separado.
- Aves de paso: se registró el número de individuos de las especies de aves que pasaron volando dentro del radio de detección. Los individuos observados durante los 3 primeros minutos del conteo en cada punto fueron registrados por separado.
- Aves de punto a punto: se anotaron los individuos de las especies que se observaron durante el trayecto hacia el siguiente punto.
- Comportamiento: Se registro el comportamiento de la especie observada de acuerdo a la clasificación presentada en la **Tabla 6**.

#### a) Composición de la comunidad de aves por zona

Con los registros obtenidos se generó un listado ordenado sistemáticamente en el cual se indica la presencia de las especies por cada una de las zonas de estudio, además también se incluyó un check list con endemismos y status de conservación de las especies de acuerdo a los criterios de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la IUCN (ANEXO III).

**Tabla 6. Tipos de comportamiento de las aves y listado de claves con que deberán ser registrados en las hojas de campo**

<b>Comportamiento</b>	<b>Clave</b>
<b>De Forrajeo</b>	
Ave vadeadora	V
Ave nadadora o zambullidora	Z
Ave que detecta el alimento en vuelo o desde percha	H (vuelo) o P (percha)
Ave perforadora o sondeadora	D (perforadora) S (sondeadora)
Refugio: El ave se encuentra solo perchada sin alimentarse	R
<b>Anidación</b>	
Nido situado en mangle: se anotó la especie del mangle y altura, la altura a la que se encuentra el nido y forma del nido: Copa Plataforma Hueco	M  c (Copa) pl (Plataforma) T (Hueco)
Nido situado en suelo: se anotó si el nido se encuentra expuesto o cubierto.	S
Nido situado en el agua	F
Cortejo	L
Estrato de actividad	
Arbóreo	A
Arbustivo	B
Herbáceo	E

#### a) Curvas de acumulación de especies

Se utilizaron para obtener una medida del esfuerzo de muestreo, y dar fiabilidad al inventario obtenido. Para la obtención de estas curvas se aplicó el modelo Chao 2 que es un método no paramétrico que solo requiere datos de presencia/ausencia

Donde:

$$\text{Chao}_2 = S + \frac{L^2}{2M}$$

L= número de especies que ocurren solamente en una muestra (especies únicas).  
M= número de especies que ocurren en exactamente dos muestras (especies dobles).  
S= número de especies observadas.

Chao 2 provee el estimador menos sesgado para muestras pequeñas y es menos sensible a la agregación de especies como en el caso de aves acuáticas (Moreno, 2001; López y Williams, 2006).

El esfuerzo de muestreo se cuantificó por número de visitas a cada punto (6 visitas). Antes de aplicar el modelo se realizó un proceso de “suavisado” para la curva en el cual el orden de entrada de las unidades de esfuerzo de muestreo ( $n$ ) es aleatorizado y el número promedio de especies es calculado para los valores de  $n$ , al igual que los valores de Chao 2; este proceso se realizó en el programa EstimateS 9.10 ®. Posteriormente en el programa Statistica 8 ® se realizó la gráfica trazando dos curvas, en una de las curvas se graficó el número promedio de especies (Sobs) y en la segunda curva se graficaron los valores promedio de Chao2 (Sest).

La gráfica resultante se interpreta de manera distinta a la convencional; ya que entre ambas curvas existe cierta separación, la cual estaría indicando el número de especies que aún no se han registrado en una comunidad dada. Entonces, entre mayor sea la separación entre la curva de Sest y de la Sobs, el número de especies que contenga esa comunidad será mayor que el conocido durante el periodo de muestreo (Escalante, 2003).

#### b) Diversidad de la comunidad de aves

La diversidad de la comunidad de aves en sus niveles alpha, beta y gamma fueron calculadas a través de los números de Hill. Estos permiten valorar cada especie por su proporción (Almazán-Nuñez, *et al.*, 2009). Se eligió este método ya que es de fácil interpretación y las magnitudes de diversidad entre comunidades de áreas de diferentes tamaños sí pueden ser comparadas directamente. La diversidad por números de Hill es la medida de la importancia numérica de las especies presentes en una comunidad dada (Berger y Parker, 1970).

La expresión matemática utilizada fue la siguiente:

Donde:

$${}^qD = \left( \sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

qD= diversidad de orden q  
Σ= Sumatoria  
q= Orden de diversidad (0, 1 y 2)  
Pi= Abundancia relativa

A “q” se le conoce como orden de la diversidad, de forma de la diversidad “D” depende solamente del orden “q” asignado y de los valores de abundancias relativas “pi”.

Para “q” los valores fueron expresados en números de especies equivalentes o efectivas, de manera que, en comparación de otras medidas de diversidad, este índice da a las especies igualmente comunes significado real como medida de diversidad, por lo que no será necesario calcular antes otros índices de diversidad (Shannon o Ginni-Simpson) para su posterior conversión a medidas de diversidad (Jost y González-Oreja, 2012).

El orden “q” indica la sensibilidad a la abundancia que tiene el índice. Para el cálculo de la diversidad  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , los órdenes utilizados fueron ( $\gamma$ : 0, 1 y 2;  $\beta$ : 0 y 2) ; y se interpretaron como a continuación se indica para  $\alpha$  (Jost, 2006):

Orden 0: no tiene sensibilidad a la abundancia, por lo cual da la medida de riqueza en una comunidad o paisaje. Se utilizó para diversidad alpha y gamma. Orden 1: toma en cuenta la abundancia de todas las especies; todas las especies tienen el mismo peso y la misma importancia sin importar si son raras o comunes. Se utilizó para diversidad alpha, beta y gamma. Orden 2: da menos importancia a las especies raras y mayor peso a las especies abundantes. Por lo que indica que comunidad es más diversa en relación a la cantidad de especies que tengan mayor abundancia. Se utilizó para diversidad beta y gamma.

-Diversidad alpha ( $\alpha$ ): es la riqueza de especies de un sitio o comunidad de estudio (Calderón-Patrón, *et al.*, 2012). La unidad para expresar su valor fue la “especie efectiva”. El cálculo de los órdenes de diversidad así como los perfiles de diversidad alpha para las comunidades estudiadas se realizó en el programa PAST®.

Para fines interpretativos de los resultados se tomaron en cuenta los ordenes  $q=0$  (riqueza) y  $q=1$  (abundancia) Además, se calculó el índice de equidad de Hill, el cual es una medida de la dominancia dentro de una comunidad. Para su cálculo se utilizó la diversidad alfa de orden 0 ( $q_0$ ) y de orden 2 ( $q_2$ ). En el índice de equidad de Hill (IE), los valores cercanos a cero implican que existe dominancia de especies en la comunidad (no equitativo) y cuando se acerca a uno (valor máximo) indica que la distribución de abundancias en las especies de la comunidad son similares (equitativo) (Moreno, *et al.*, 2011).

Para el cálculo de este índice se aplicó la siguiente fórmula:  $IE = D_2 / D_0$

-Diversidad  $\gamma$  y  $\beta$ : Partición multiplicativa de la diversidad gamma

Las diversidades  $\gamma$  y  $\beta$  se calcularon utilizando la partición multiplicativa de la diversidad. A partir de la siguiente expresión:

Donde:

${}^q\gamma$ : Diversidad gamma de orden 0, 1 o 2

$${}^q\gamma = \alpha^q \beta^q$$

$\alpha^q$ : Diversidad gamma de orden 0, 1 o 2

$\beta^q$ : Diversidad gamma de orden 0, 1 o 2

Diversidad gamma: Es la diversidad de especies que posee un número de comunidades para un grupo de ambientes, los cuales están de tal forma combinados que el valor de diversidad  $\gamma$  es el resultado de las diversidades  $\alpha$  y de la diversidad  $\beta$  de estas comunidades (Calderón-Patrón, *et al.*, 2012).

La partición multiplicativa de la diversidad gamma en sus componentes alfa y beta, expresados como números efectivos, cumple con una serie de propiedades cruciales en el análisis de la diversidad regional: Las diversidades  $\alpha$  y  $\beta$  deben ser independientes y tener valores menores que  $\gamma$ ;  $\alpha$  debe ser un promedio de la diversidad de las comunidades que integran la región;  $\gamma$  debe estar completamente determinada por  $\alpha$  y  $\beta$ ; los componentes deben de poder ser comparados directamente (Moreno, *et al.*, 2011).

Para tener una visión más general de la diversidad a nivel de paisaje se obtuvieron los tres órdenes de diversidad para gamma. La unidad designada para expresar su valor es “especies efectivas” y según el valor de “q” se interpreta como se indica a continuación:

Orden 0, no tiene sensibilidad a la abundancia, por lo que su valor corresponde a la riqueza de las especies a nivel de región o paisaje. Orden 1, toma en cuenta las abundancias de todas las especies del paisaje. Diversidad gamma de orden 2, es sensible a las especies abundantes y da menor importancia a especies raras.

Diversidad beta: es la medida o grado de diferencia entre comunidades dada su composición, en relación a patrones ambientales. En su variante  $\beta$  multiplicativa mide cuántas veces más diversa es la región que el promedio de las zonas que la componen (Calderón-Patrón, *et al.*, 2012).

Para los órdenes de diversidad, beta expresa cuantas comunidades efectivas hay en un paisaje (Halffter y Rös, 2013), ósea se refiere al número de comunidades virtuales en

una región que difieren en su composición de especies pero mantienen el valor de la diversidad  $\alpha$  promedio (Pereyra y Moreno, 2013).

Los valores de  $\beta$  van de 1 ( ${}^q\beta_{min}$ ) al número de unidades de muestreo o comunidades ( ${}^q\beta_{max}$ ) en este caso 7. Cuando los valores se acercan 1 significa que la mayor parte de especies están compartidas, cuando los valores son cercanos a  ${}^q\beta_{max}$  indica que pocas especies se comparten. Cuando “q” aumenta el valor de la diversidad  $\beta$  puede disminuir, seguir igual o aumentar. Los ordenes q=0, q=2 varía a comparación de  $\alpha$  y  $\gamma$ , como se indica a continuación:

Orden 0: es una medida del recambio de especies entre comunidades; si su valor es igual o cercano a  $\beta_{min}$  las comunidades comparten todas o casi todas las especies, por lo que el recambio de especies es bajo y por lo tanto son menos beta diversas. Si el valor es cercano a  $\beta_{max}$  las comunidades no comparten especies, tienen mayor recambio de especies y son más betas diversas. Orden 2, expresa el número de comunidades efectivas que comparten especies más abundantes.

Las medidas de beta no miden las diferencias entre pares de sitios, por lo que se utilizaron medidas de similitud.

Similitud composicional: Las medidas de similitud se refieren a qué tan parecidas son la unidades muestreadas (o comunidades) comparándolas por pares, en términos de la composición de especies y sus abundancias relativas (Halfter y Rös, 2013).

Se calcularon los siguientes índices:

*Coefficiente de similitud de Jaccard* ( $I_j$ ): Indica que tan parecidas son las comunidades en composición basándose en presencias y ausencias (Moreno, 2001). Los valores varían entre cero (cuando entre las comunidades no existe similitud) y uno (cuando existe máxima similitud).

Donde:

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

a= número de especies presentes en el sitio A

b= número de especies presentes en el sitio B

c= número de especies presentes en ambos sitios A y B

*Índice de Horn* ( $R_0$ ): Indica que tan parecidas son las comunidades en su composición y abundancia. En este índice también los valores van de cero (cuando las comunidades no presentan similitud) a uno (cuando la abundancia y composición entre comunidades son similares) (Rodríguez-Salazar, *et al.*, 2001).

Donde:

$$R_0 = \frac{H'_4 - H'_3}{H'_4 - H'_5}$$

$H'_3$ =diversidad global de ambas comunidades

$H'_4$ =diversidad máxima posible global para ambas comunidades

$H'_5$ =diversidad máxima posible global para ambas comunidades.

Índice de dispersión de Morisita: Mide la similitud entre dos comunidades, en relación a la distribución de los miembros de la misma utilizando sus abundancias; por ejemplo, cuál sería la probabilidad que dos individuos seleccionados al azar se encontrarán en el mismo cuadrante que fueron distribuidos aleatoriamente, por lo tanto es sensible a las especies dominantes. Sus variables van de cero (cuando no hay similitud y no existe agregación) a 1 (cuando existe máxima similitud y existe agregación) (Kwak y Peterson, 2007; Hayes y Castillo, 2017). Es independiente del tamaño de la muestra, y en escalas pequeñas puede alcanzar el valor de cero para patrones no agregados (Golay, *et al.*, 2014; Wolda, 1981).

Donde:

$\lambda$ = índice de diversidad de Simpson

$$C_\lambda = \frac{2 \sum n_{1i}n_{2i}}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 N_2}$$

$n_{1i}$ = número de individuos de la especie  $i$  en la comunidad 1

$n_{2i}$ = número de individuos de la especie  $i$  en la comunidad 2

$N_1$ = el número de individuos en la comunidad 1

$N_2$ = el número de individuos en la comunidad 2

La partición de la diversidad fue calculada en el programa RStudio®.

## Resultados y Discusiones

### a) Composición de la comunidad de aves por zona

Desde julio de 2016 hasta mayo de 2017 se registraron para los siete manglares de la zona costera de Huatulco 135 especies de aves pertenecientes a 41 familias. El listado de la **Tabla 7** muestra las especies registradas en cada zona de estudio durante la realización del conteo por puntos, se incluyen las especies de paso y las especies observadas en los trayectos de punto a punto.

En las zonas situadas en el área de influencia del PNH se registraron 128 especies, de las cuales 93 pertenecen a Boca vieja, 83 a Laguna Salina y 76 al estero Majahual y 25 a la Entrega. En las zonas situadas en polígono del PNH se registraron 77 especies de las cuales 63 se observaron en San Agustín, 25 en playa El Órgano y 20 en los manglares de la bahía Chachacual. La presencia de la misma especie en varios sitios o el registro único por zona de manglar se explican más adelante. Se puede observar que el mayor número de especies se registró para el estero Boca vieja con 93 especies; mientras que el manglar de bahía Chachacual tiene el menor número de especies con solo 20 especies; sin embargo, en este último sitio no se pudieron realizar los conteos en los meses de septiembre de 2016 y mayo de 2017 debido a tormentas tropicales que azotaron la región.

**Tabla 7. Composición de la comunidad de aves por zona de estudio. Se empleó la nomenclatura taxonómica recomendada por Berlanga, et al., 2015. \*Zonas dentro del Parque Nacional Huatulco**

	Boca vieja	Laguna Salina	Estero Majahual	Playa la Entrega	*Bahía San Agustín	*Chachacual	*El Órgano
<b>Anatidae</b>							
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	X	X	X		X		X
<i>Anas discors</i>	X	X					
<i>Anas clypeata</i>	X	X					
<i>Aythya collaris</i>		X	X				
<b>Cracidae</b>							
<i>Ortalis poliocephala</i>	X	X	X	X	X		
<b>Podicipedidae</b>							
<i>Tachybaptus dominicus</i>		X					
<b>Ciconiiformes</b>							
<i>Mycteria americana</i>	X	X					
<b>Phalacrocoracidae</b>							
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	X	X	X				
<b>Anhingidae</b>							
<i>Anhinga anhinga</i>	X		X				
<b>Pelecanidae</b>							
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	X	X	X				
<i>Pelecanus occidentalis</i>		X	X				



<b>Ardeidae</b>							
<i>Ardea herodias</i>	X	X					
<i>Ardea alba</i>	X	X	X			X	
<i>Egretta thula</i>	X	X	X				
<i>Egretta caerulea</i>	X	X	X				
<i>Egretta tricolor</i>	X	X					
<i>Egretta rufescens</i>	X						
<i>Bubulcus ibis</i>	X					X	
<i>Butorides virescens</i>	X	X	X			X	
<i>Nycticorax nycticorax</i>	X	X	X			X	
<i>Nyctanassa violacea</i>	X	X	X			X	
<i>Cochlearius cochlearius</i>	X		X				
<b>Threskiornithidae</b>							
<i>Eudocimus albus</i>	X		X			X	
<i>Platalea ajaja</i>	X	X	X			X	
<b>Cathartidae</b>							
<i>Coragyps atratus</i>	X	X	X	X		X	X
<i>Cathartes aura</i>	X	X	X			X	
<b>Pandionidae</b>							
<i>Pandion haliaetus</i>	X	X				X	
<b>Accipitridae</b>							
<i>Buteogallus anthracinus</i>	X	X	X				
<i>Buteogallus urubitinga</i>	X						
<i>Rupornis magnirostris</i>	X	X	X			X	
<i>Buteo plagiatus</i>							X
<i>Buteo platypterus</i>		X				X	
<i>Buteo albonotatus</i>						X	
<b>Rallidae</b>							
<i>Gallinula galeata</i>	X	X	X				
<b>Recurvirostridae</b>							
<i>Himantopus mexicanus</i>	X	X				X	
<i>Recurvirostra americana</i>		X					
<b>Charadriidae</b>							
<i>Charadrius vociferus</i>		X					
<b>Scolopacidae</b>							
<i>Actitis macularius</i>	X	X	X				
<i>Tringa solitaria</i>		X					
<i>Tringa melanoleuca</i>	X	X					
<i>Tringa semipalmata</i>	X						
<i>Tringa flavipes</i>		X					
<i>Numenius phaeopus</i>	X						
<i>Calidris minutilla</i>	X	X					
<i>Limnodromus scolopaceus</i>		X					
<i>Phalaropus tricolor</i>		X					
<b>Fregatidae</b>							
<i>Fregata magnificens</i>	X	X	X	X		X	
<b>Columbidae</b>							
<i>Columbina inca</i>	X	X	X			X	
<i>Columbina passerina</i>	X	X	X				
<i>Leptotila verreauxi</i>	X	X	X	X		X	X

<i>Zenaida asiatica</i>	X	X	X		X		X
<b>Cuculidae</b>							
<i>Piaya cayana</i>			X				
<i>Dromococcyx phasianellus</i>	X						
<i>Morococcyx erythropygus</i>	X	X			X		
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	X	X	X	X	X	X	
<b>Caprimulgidae</b>							
<i>Chordeiles acutipennis</i>	X				X		
<i>Nyctidromus albicollis</i>		X					
<b>Apodidae</b>							
<i>Chaetura vauxi</i>	X						
<b>Trochilidae</b>							
<i>Helimaster longirostris</i>			X				X
<i>Cyananthus latirostris</i>	X	X	X		X		X
<i>Amazilia beryllina</i>			X				
<i>Amazilia rutila</i>		X	X		X		X
<b>Trogonidae</b>							
<i>Trogon citreolus</i>	X	X	X		X		
<b>Momotidae</b>							
<i>Momotus mexicanus</i>	X			X			
<b>Alcedinidae</b>							
<i>Megaceryle torquata</i>	X	X					
<i>Megaceryle alcyon</i>	X		X				
<i>Chloroceryle amazona</i>	X						
<i>Chloroceryle americana</i>	X	X	X				
<b>Picidae</b>							
<i>Melanerpes chrysogenys</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Dryocopus lineatus</i>	X	X	X				
<b>Falconidae</b>							
<i>Caracara cheriway</i>	X		X		X		X
<i>Falco peregrinus</i>	X		X		X		X
<b>Psittacidae</b>							
<i>Eupsittula canicularis</i>	X	X	X			X	X
<i>Amazona albifrons</i>		X	X			X	
<b>Furnariidae</b>							
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	X	X	X				
<b>Tyrannidae</b>							
<i>Empidonax traillii</i>	X			X			
<i>Empidonax minimus</i>		X				X	
<i>Empidonax difficilis</i>	X		X				
<i>Myiarchus cinerascens</i>		X			X	X	X
<i>Myiarchus nuttingi</i>		X			X		
<i>Pitangus sulphuratus</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Megarynchus pitangua</i>		X	X		X		
<i>Myiozetetes similis</i>	X	X	X				

<i>Tyrannus melancholicus</i>	X	X	X	X	X		
<b>Vireonidae</b>							
<i>Vireo bellii</i>	X					X	
<i>Vireo solitarius</i>	X	X				X	
<i>Vireo gilvus</i>	X					X	
<b>Corvidae</b>							
<i>Calocitta formosa</i>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Hirundinidae</b>							
<i>Progne chalybea</i>	X		X			X	
<i>Hirundo rustica</i>	X		X				
<b>Troglodytidae</b>							
<i>Campylorhynchus rufinucha</i>	X	X	X	X	X		X
<i>Pheugopedius felix</i>			X				
<i>Thryophilus pleurostictus</i>	X	X				X	X
<b>Poliptilidae</b>							
<i>Poliptila caerulea</i>			X				
<i>Poliptila albiloris</i>		X	X				X
<b>Turdidae</b>							
<i>Turdus rufopalliatus</i>	X	X	X	X	X	X	
<b>Mimidae</b>							
<i>Melanotis caerulescens</i>	X						
<i>Mimus polyglottos</i>						X	
<b>Parulidae</b>							
<i>Seiurus aurocapilla</i>			X	X			
<i>Mniotilta varia</i>	X	X	X			X	
<i>Parkesia motacilla</i>		X					X
<i>Parkesia noveboracensis</i>	X	X					X
<i>Oreothlypis celata</i>	X	X	X			X	X
<i>Oreothlypis ruficapilla</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Oreothlypis luciae</i>		X					
<i>Geothlypis tolmiei</i>			X				
<i>Geothlypis formosa</i>		X					X
<i>Geothlypis trichas</i>	X						
<i>Setophaga ruticilla</i>			X			X	X
<i>Setophaga americana</i>	X	X					
<i>Setophaga pitayumi</i>	X		X				X
<i>Setophaga magnolia</i>			X	X			
<i>Setophaga petechia</i>	X		X				X
<i>Setophaga coronata</i>	X	X	X			X	
<i>Setophaga dominica</i>	X		X	X	X	X	
<i>Cardellina pusilla</i>	X	X	X				X
<b>Thraupidae</b>							
<i>Volatinia jacarina</i>	X		X			X	
<i>Sporophila torqueola</i>						X	
<i>Saltator coerulescens</i>	X						
<b>Cardinalidae</b>							
<i>Habia rubica</i>		X					
<i>Cardinalis cardinalis</i>	X	X	X	X	X		X
<i>Granatellus venustus</i>	X		X	X			X
<i>Cyanocompsa</i>	X	X	X			X	

<i>parellina</i>							
<i>Passerina leclancherii</i>		X	X	X	X		X
<b>Icteridae</b>							
<i>Quiscalus mexicanus</i>	X			X	X		
<i>Molothrus aeneus</i>					X		
<i>Molothrus ater</i>					X		
<i>Icterus spurius</i>	X				X		
<i>Icterus cucullatus</i>			X		X		
<i>Icterus pustulatus</i>				X			X
<i>Icterus pectoralis</i>				X	X		
<i>Icterus gularis</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Icterus graduacauda</i>	X				X		
<i>Cassiculus melanicterus</i>	X	X	X	X	X		
<b>Total de especies</b>	<b>93</b>	<b>83</b>	<b>76</b>	<b>25</b>	<b>63</b>	<b>20</b>	<b>25</b>

#### b) Curvas de acumulación de especies

Para la valoración del esfuerzo de muestreo se realizaron las curvas de acumulación de especies para cada sitio. Se tomaron en cuenta únicamente las especies registradas durante los cinco minutos de observación en cada punto, omitiéndose tanto las especies de paso como las observadas entre cada punto.

En la **Figura 16** se muestran las curvas pertenecientes a los manglares dentro del PNH, como se detalló anteriormente, la distancia entre la curva de especies observadas y Chao2 corresponde al número de especies que faltan por ser registradas. La curva de acumulación de especies para San Agustín y el Órgano (**Figuras 16a y 16b respectivamente**) muestra que el número de especies que faltaron por registrar es de 11 los sitios dentro del PNH en el que faltó mayor esfuerzo de muestreo fue en Chachacual donde, según el modelo de Chao 2, faltaron por registrar 70 especies. Sin embargo, es importante recalcar que dos visitas fueron canceladas por causas climáticas. A pesar que se realizaron 5 visitas, en la segunda ocasión que se fue al lugar solo se pudo hacer el conteo en uno de los tres puntos de observación, razón por la cual la curva de este sitio presenta valores mayores de especies faltantes.

En la **Figura 17** se muestran las curvas pertenecientes a los manglares ubicados en la zona de influencia del PNH. La curva de acumulación de especies de Boca vieja muestra que para completar el esfuerzo de muestreo hacen falta 15 especies (**Figura 12a**). En el sitio de La Salina es donde falta un mayor número de especies, específicamente 43 para completar la muestra (**Figura 17b**); mientras que en Majahual solo faltaron 16 especies por registrar (**Figura 17c**). Finalmente, fue en Playa La Entrega donde faltó el menor número, ya que solo faltaron por registrar 7 especies (**Figura 17d**).

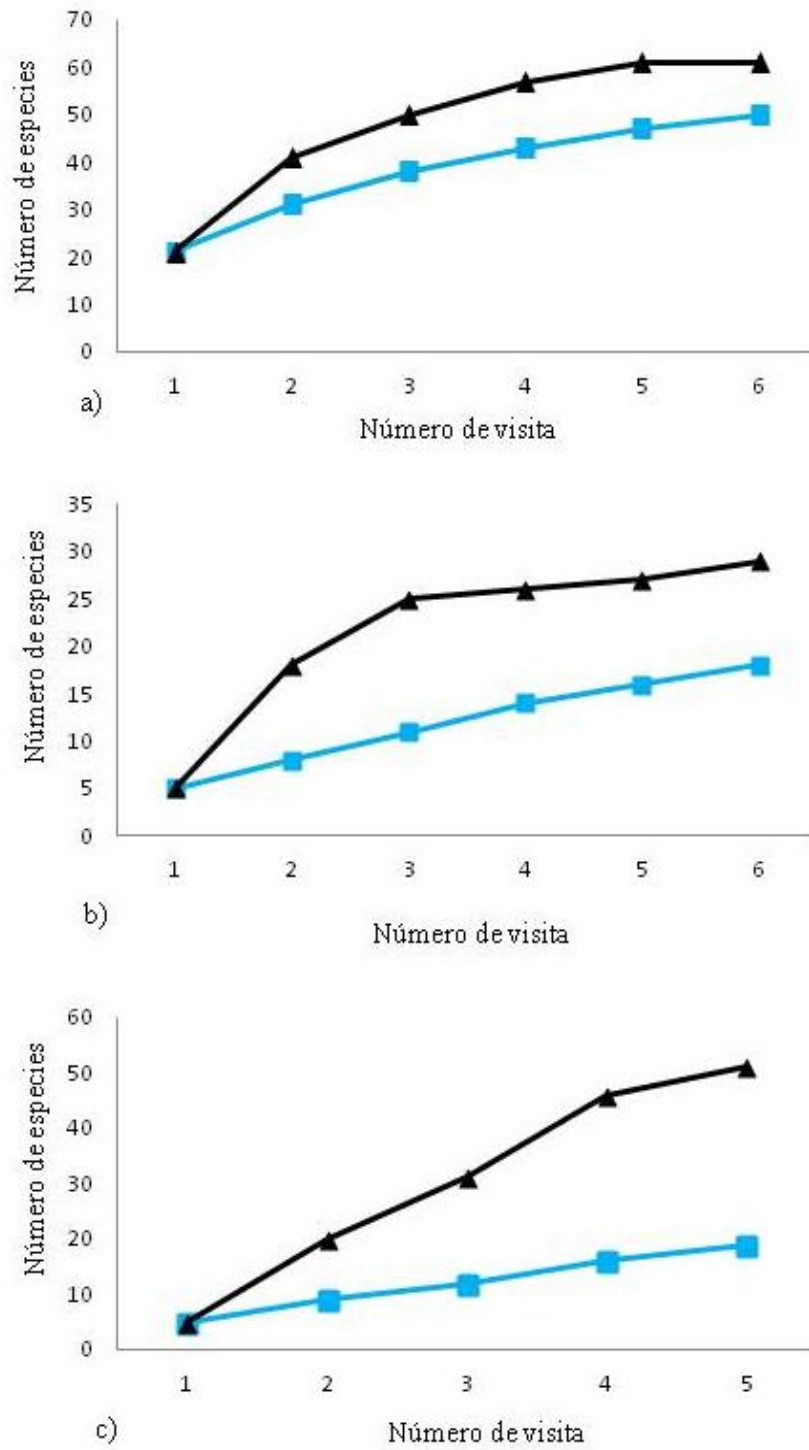


Figura 16. Curvas de acumulación de especies para los sitios presentes dentro del PNH a) Bahía San Agustín, b) Playa en Órgano, c) Playa Chachacual —■— Especies observadas media —▲— Chao 2 media.

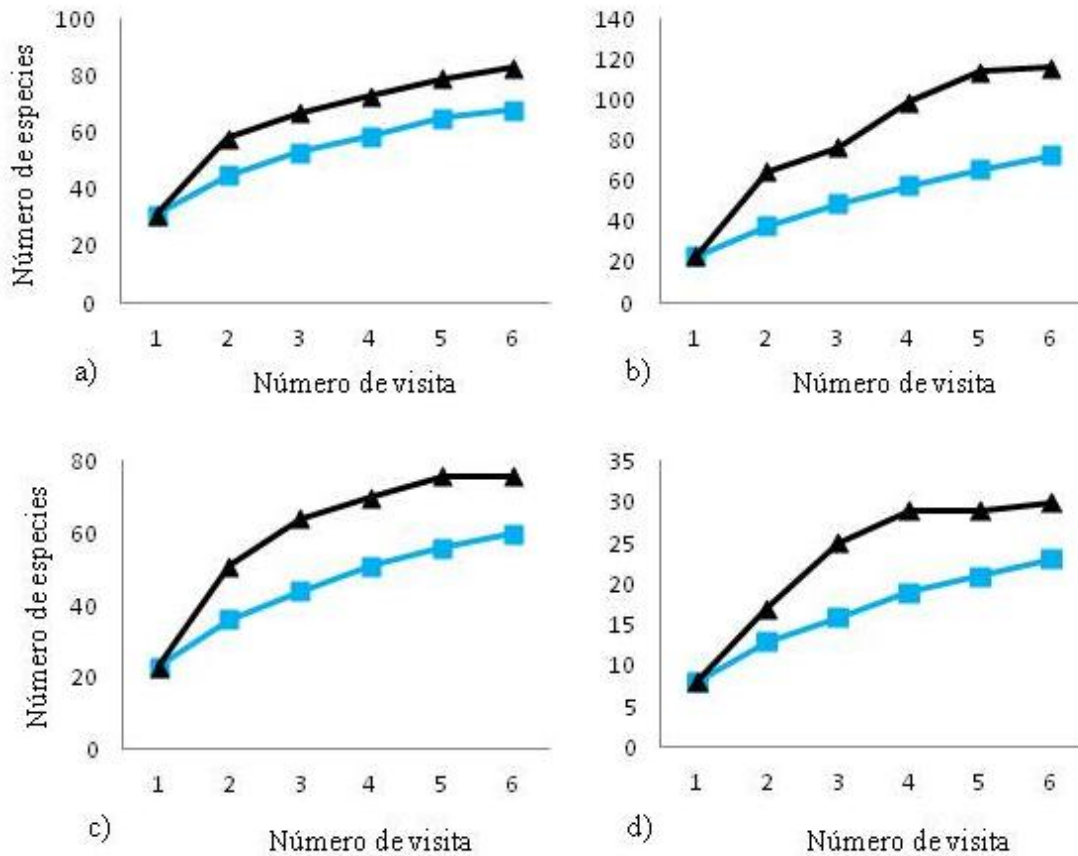


Figura 17. Curvas de acumulación de especies de los sitios situados en el área de influencia del PNH a) Estero Boca vieja, b) Laguna Salina, c) Estero Majahual, d) Playa La Entrega. ■ Especies observadas media ▲ Chao 2 media.

En todos los sitios se puede observar que hace falta un periodo mayor de muestreo para lograr alcanzar el mínimo recomendado por las curvas de acumulación y con ello completar los inventarios correspondientes.

A continuación se presentarán los valores de diversidad entre sitios y en épocas de secas y lluvias.

#### a) Diversidad de la comunidad de aves

##### -Diversidad alfa

Tomando en cuenta la riqueza de especies durante todo el año ( $q=0$ ) en toda el área de estudio y dentro de la zona de influencia del PNH, los sitios con mayor riqueza fueron: La Salina con 73 especies efectivas, Boca vieja contó con 68 especies efectivas, y Majahual con 60. Dentro del PNH, la bahía San Agustín fue la más rica con 50 especies efectivas.

A continuación se mostraran los valores de diversidad  $\alpha$  ( $Q=0$  y  $Q=1$ ) durante las temporadas de lluvias y secas. (Para consultar los perfiles de diversidad y los valores para cada orden ver ANEXOS IV).

#### *Lluvias:*

- $Q=0$ : La riqueza en la zona de influencia fue mayor en Boca vieja con 52 especies efectivas, la Salina con 45 especies efectivas, Majahual con 37 especies efectivas y La Entrega con 15 especies efectivas fue la menos rica.

Del PNH la comunidad más rica fue San Agustín con 31 especies efectivas y Chachacual contó con 9 especies efectivas al igual que El Órgano.

- $Q=1$ : Tomando en cuenta las abundancias de todas las especies Boca vieja fue la más diversa dentro de la zona de influencia con un valor de 32 especies efectivas, seguida de la comunidad de Salina con 27 especies y Majahual con 25 especies efectivas; la comunidad menos diversa de la zona de influencia fue la Entrega con 10 especies; sin embargo de las comunidades de los parches chicos fue la más diversa.

Dentro del PNH las abundancias de las especies en San Agustín indicaron que esta comunidad es la más diversa con 19 especies efectivas, seguida del Órgano con 8 especies efectivas y Chachacual con 7 especies efectivas.

- Equidad: La comunidad con mayor dominancia fue Boca vieja (0.432); Majahual (0.479) estuvo más dominada que Salina (0.404). La comunidad de aves en La Entrega tuvo abundancias distribuidas más uniformemente por lo que fue más equitativa (0.536).

Dentro del PNH la comunidad que tuvo la mayor dominancia fue San Agustín (0.454). El Órgano tuvo la comunidad más equitativa (0.806).

#### *Secas:*

- $Q=0$ : Durante esta época Boca vieja fue el sitio con la comunidad más rica con 56 especies efectivas, posteriormente La Salina con 55 especies efectivas, Majahual con 49 especies efectivas y por último la Entrega con 19 especies efectivas.

Dentro del PNH San Agustín fue la más diversa con 42 especies efectivas, seguida del Órgano con una riqueza de 13 especies efectivas y Chachacual con 11 especies efectivas.

- $Q=1$ : En la zona de influencia la comunidad más diversa tomando en cuenta la abundancia fue la de Majahual con 33 especies efectivas. Boca vieja fue la segunda

comunidad más diversa respecto a la abundancia con 28 especies efectivas; la comunidad de Salina tuvo 21 especies efectivas, la Entrega fue la menos diversa de la zona de influencia con 12 especies efectivas.

Dentro del PNH San Agustín tuvo la comunidad más diversa con 27 especies efectivas, y también las especies presentes durante esta época tuvieron mayor abundancia que en lluvias (19 especies efectivas). La comunidad de El Órgano fue la segunda con mayor abundancia 11 especies efectivas, la comunidad de Chachacual fue la menos diversa con 8 especies.

- Equidad: Majahual fue la comunidad con menos especies dominantes (0.506) fue más equitativa que Boca vieja y Salina. Boca vieja fue de las comunidades menos equitativas (0.253), presentando mayor dominancia de especies. En el caso de Salina la equidad (0.174) mostró una alta dominancia. La Entrega durante secas fue la más equitativa (0.537) entre los sitios de la zona de influencia.

En las comunidades del PNH San Agustín fue la que tuvo mayor dominancia (0.446). El Órgano tuvo fue la más equitativa (0.776). Chachacual se mostró medianamente equitativa (0.564)

-Diversidad beta:

Los datos anuales reflejan que entre las comunidades existió un bajo recambio de especies por lo que se comparten especies más comunes y abundantes.

A continuación se mostraran los valores de diversidad  $\beta$  (Q=0 y Q=2) durante las temporadas de lluvias y secas. (Para consultar los perfiles de diversidad y los valores para cada orden ver ANEXOS IV).

*Lluvias:*

- Q=0: El recambio de especies durante esta época fue de 3 comunidades distintas en su composición de especies, las comunidades comparten algunas especies por lo que son menos  $\beta$  diversas.
- Q=2: Durante la época de secas la diversidad beta de orden 2 resultó con un valor de 2 comunidades efectivas lo que indica que las especies dominantes son compartidas entre las comunidades.



- Índices de similitud

- a) Jaccard: La similitud mostró que las comunidades más parecidas en riqueza fueron Boca vieja y (Jaccard= 0.42); posteriormente Chachacual y El Órgano (Jaccard=0.29); Majahual y San Agustín (Jaccard= 0.38 y 0.35) tienen baja similitud con el grupo formado por Boca vieja y Salina; Chachacual y El Órgano tienen una similitud muy baja (Jaccard= 0.29); La Entrega son tiene una similitud muy baja en relación a las otras comunidades distintas (Jaccard= 0.23).
- b) Horn: De acuerdo al índice de similitud composicional y abundancia Salina y Boca vieja fueron los sitios más similares (Horn= 0.72) ya que compartieron más especies similares en abundancia; a su vez Boca Vieja presentó cierta relación con Majahual (Horn= 0.67). Chachacual y San Agustín fueron similares entre sí (Horn= 0.68) pero se separan en cuanto a riqueza y abundancia de las comunidades anteriormente mencionadas. El valor de similitud de La Entrega no es bajo (Horn 0.57), sin embargo no guarda similitud con alguna otra comunidad, pues podría compartir pocas especies con abundancias distintas El Órgano fue la comunidad más distinta (Horn= 0.43) ya que presenta bajos números de abundancia y de riqueza.
- c) Morisita: Las comunidades que guardaron mayor similitud de acuerdo a la dominancia de sus especies fueron Salina y Boca vieja (Morisita= 0.74) que compartieron más especies dominantes Majahual tuvo un valor de similitud alto (Morisita= 0.72); sin embargo, no se relacionó directamente con ninguna comunidad pero si indirectamente con Salina, podrían compartir algunas especies que son dominantes en un sitio y en el otro no. Chachacual guardó relación con San Agustín (Morisita= 0.72). La Entrega y El Órgano no presentaron similitudes importantes con otras comunidades (Morisita= 0.57 y 0.42 respectivamente).

La curva de la (**Figura 18 a**) muestra que las comunidades comparten pocas especies y las especies compartidas o comunes son abundantes.

*Secas:*

- Q=0: Durante esta época el recambio de especies fue de 3 comunidades efectivas, las comunidades comparten algunas especies, son más  $\beta$  diversas que en lluvias (**Figura 18 b**).

- Q=2: De acuerdo a las especies dominantes la diversidad beta de orden 2 tuvo un valor de 3 comunidades efectivas, este valor indica que las comunidades comparten algunas especies dominantes y son más beta diversas en temporada de secas que durante lluvias.
- Similitudes:
  - a) Jaccard: La similitud mostró que las comunidades más parecidas en riqueza fueron Boca vieja y Majahual (Jaccard= 0.47); posteriormente Salina y San Agustín (Jaccard= 0.43); La Entrega mostró similitud con El Órgano, sin embargo son las menos similares (Jaccard= 0.32); Chachacual presentó la menor similitud (Jaccard= 0.23) por lo que su composición es casi en su totalidad distinta a la de los otros sitios.
  - b) Horn: La similitud composicional y abundancia similitud en este orden de  $\beta$  indicó que San Agustín y La Entrega fueron los sitios que mayor similitud tuvieron (Horn= 0.61) ya que compartieron especies con abundancias similares. Majahual y Boca vieja, comparten algunas especies que no se encuentran en otros sitios o son raras (Horn= 0.58). Los otros sitios Salina (Horn= 0.42), Órgano (Horn= 0.40) y Chachacual (Horn= 0.16) no guardaron relación entre sí, ni con ningún otro sitio aunque comparten especies con otros sitios sus abundancias son muy distintas.
  - c) Morisita: La similitud de acuerdo a la dominancia mostró que las comunidades más similares fueron El Órgano y La Entrega (Morisita= 0.62) estas compartieron algunas especies con abundancias similares. Majahual y San Agustín tuvieron menor similitud (Morisita= 0.49) en un sitio hubo dominancia y en el otro no. Boca vieja tuvo una similitud baja (Morisita= 0.24) ya que algunas de sus especies no son dominantes. Salina (Morisita= 0.14) y Chachacual (Morisita= 0.10) no tienen similitud.

La curva de la figura (**Figura 18 b**) muestra que las especies se comparten entre comunidades pero las especies abundantes en una comunidad son raras o tienen menores abundancias en otra comunidad.

-Diversidad gamma: La riqueza de todo el paisaje fue de 117 especies efectivas. De las especies presentes en los 7 ambientes, 48 especies efectivas fueron las más típicas. Las especies más abundantes en los ambientes estudiados fue de 30 especies. (Para consultar los perfiles de diversidad y los valores para cada orden ver ANEXOS IV).

*Lluvias:*

- Q=0: Durante esta época la riqueza en el área de estudio fue de 81 especies efectivas.

- Q=1: De acuerdo a la abundancia de todas las especies presentes en el área de estudio la diversidad tuvo un valor de 31 especies efectivas.

Q=2: Las especies dominantes fueron 19 especies efectivas.

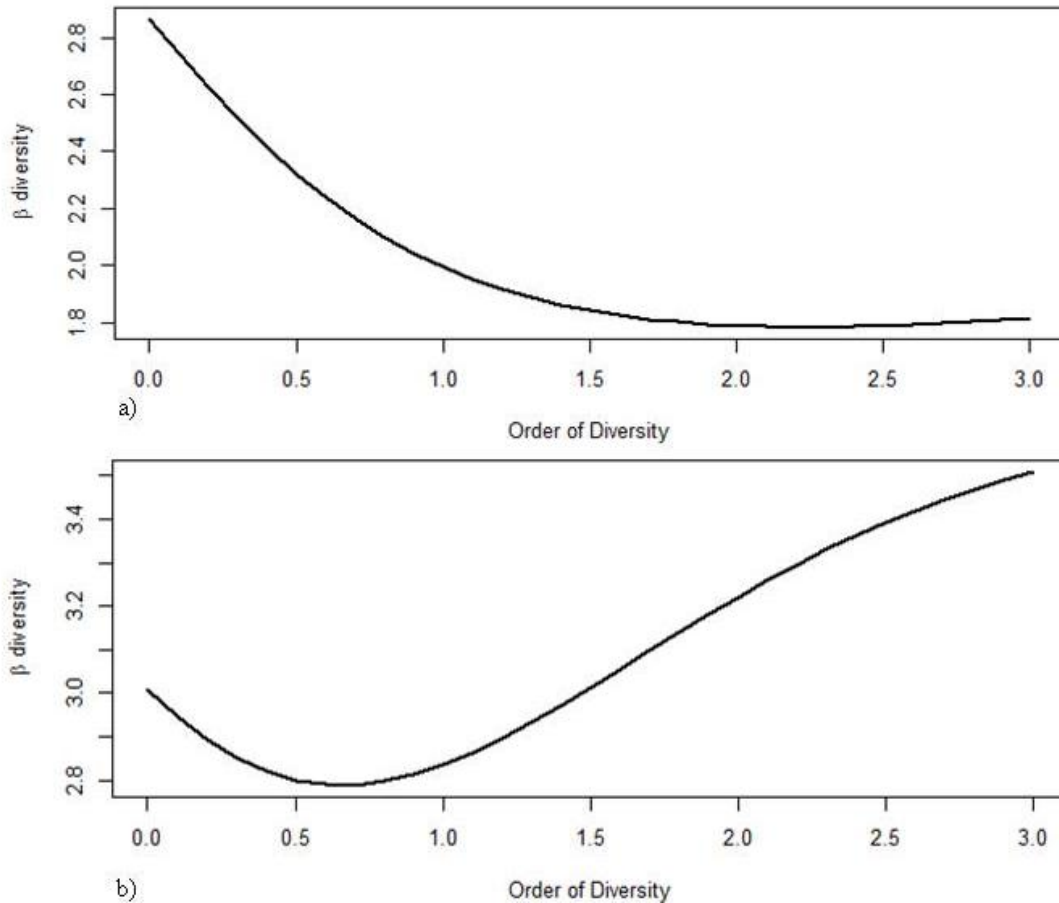


Figura 18 Perfil de diversidad a) beta lluvias b) beta secas en sus tres órdenes (q=0, q=1 y q=2)

*Secas:*

- Q=0: Durante esta época la riqueza de toda el área de estudio fue de 104 especies efectivas.
- Q=1: De acuerdo a las abundancias de todas las especies de las siete comunidades la diversidad tuvo un valor de 51 especies efectivas.
- Q=2: Las especies con mayor abundancia en las siete comunidades fueron 35 especies efectivas.

Los manglares de la costa de Huatulco tienen un gran potencial para albergar una importante diversidad de aves. Durante este estudio en los puntos de conteo situados en los

siete ambientes de manglar de el PNH y su zona de influencia se registraron 117 especies pertenecientes a 38 familias, esto corresponden al 40% de la riqueza total que señala el plan de manejo del PNH (CONABIO, 2003). En dicho plan, se muestra la cantidad de 291 especies para todo el parque, mientras que se indica que las especies presentes en manglar corresponden al 19.9% de la riqueza de aves del PNH (58 especies); sin embargo, en este estudio se encontró que la avifauna del manglar representa el 40% de la riqueza total de aves del parque. Esta riqueza es mayor que la señalada para la selva baja caducifolia que representa el 38.5% (112 especies) de la diversidad de aves del ANP; sin duda es necesario realizar monitoreos de avifauna no solo en los sitios de manglar dentro del parque y su zona de influencia, si no tambien en los demás ambientes.

Comparado con otros sitios de manglar importantes en la costa del estado de Oaxaca como Chacahua, Manialtepec y La Ventanilla, los sitios estudiados en la costa de Huatulco muestran un valor mayor de riqueza. Sin embargo, no quiere decir que la costa de Huatulco sea más rica, si no que podrían existir diferencias en el tamaño de las áreas estudiadas o que falte mayor esfuerzo de muestreo. La riqueza de especies de los tres humedales antes mencionados es: Chacahua 67, Manialtepec 72 y La Ventanilla 71 (Bojorges-Baños, 2011b). Esta riqueza es muy similar a la riqueza de los sitios grandes estudiados en la costa de Huatulco. En contraste, Ruíz y Bojorges (2014) reportaron solo para La Ventanilla 185 especies de aves, por lo que, aunque nuestro estudio reporta un número importante de especies para toda el área de estudio, es necesario incrementar los esfuerzos de monitoreo para llegar a una completitud del inventario más cercano a la realidad, tal y como lo indican las curvas de acumulación de especies.

La riqueza podría estar claramente influenciada por el tamaño de los parches de los sitios estudiados, lo cual será analizado en el capítulo 3. En el caso del aumento de la riqueza durante la época de secas (diversidad  $\alpha$ ) podría estar influenciado por los cambios drásticos que presentan los ambientes que circundan a los manglares como el matorral xerófilo y la selva baja caducifolia. En ellos, durante la época de lluvias pueden existir recursos como frutos, semillas y sitios de anidación, pero al llegar la época de secas podrían estar sufriendo un empobrecimiento temporal de recursos (Orians y Wittenberger, 1991) y la permanencia por largo tiempo en estos ambientes durante la época de secas podría representar un gasto energético o provocar estrés térmico en algunas aves.

El manglar en La Entrega fue el más rico en especies de entre los sitios pequeños (Órgano y Chachacual). Se ubica entre selva baja caducifolia y asentamientos humanos, de manera que cuando los recursos están dispersos durante las lluvias y las aves se podrían desplazar de un parche a otro, el manglar y favorecería la conectividad. Además, durante las observaciones de campo se registraron comportamientos de descanso de especies como *Trogon citreolus* y *Momotus mexicanus* las cuales no son muy comunes en el ambiente de manglar, además se registró la crianza de polluelos en estado juvenil de *Crotophaga sulcirostris*.

Se menciona el ejemplo de La Entrega, pero se podría hablar de cualquier otro sitio, ya que independientemente del área de cada uno, algunas especies que hacen uso de ambientes adyacentes, utilizan el manglar para complementar algún aspecto de su historia de vida. Por lo tanto, es probable que las preferencias de hábitat de las especies cambien de acuerdo a las cualidades (distribución de recursos: agua, sitios de sombra, refugio y alimento) que van presentando los ambientes a través del tiempo sobre la distribución y composición de las comunidades de aves, por lo que el manglar podría representar para ellas mayores probabilidades de supervivencia o éxito reproductivo (Orians y Wittenberger, 1991). Estaría sirviendo como un “oasis” donde refugiarse del calor y depredadores, sitios de hidratación, así como para la obtención de alimentos ricos en proteínas y rutas de conectividad de un ambiente a otro; esta relación de la riqueza de aves con la cobertura arbórea ya ha sido confirmada anteriormente por Cárdenas *et al.* (2003) y Enríquez-Lenis *et al.* (2006) en Costa Rica.

Del recambio de especies (diversidad  $\beta$ ) se puede decir que a lo largo del año las comunidades compartieron algunas especies típicas o comunes como en Majahual y Bocavieja. Estos sitios compartieron con abundancias similares las siguientes especies: *Ortalis poliocephala*, *Mniotilta varia*, *Oreothlypis ruficapilla* y *Volatinia jacarina*; *O. poliocephala* y *O. ruficapilla* que son comunes en toda el área de estudio. *Mniotilta varia* no es muy común pero durante el invierno tiene una amplia distribución desde la costa hasta la montaña (Kaufman, 2001). *Volatinia jacarina* tienen una distribución más relacionada con hábitats abiertos y vegetación secundaria como los pastizales y cultivos presentes en el área de estudio (Carvalho, *et al.*, 2007) Casler y Esté (1996) y García y colaboradores (2008) reportaron esta especie en un manglar en Venezuela.

Las especies dominantes compartidas entre Majahual y San Agustín fueron: *Columbina inca*, *Pitangus sulfuratus*, *Tyrannus melancholicus*, *Calocitta formosa* e *Icterus gularis*, estas especies son muy comunes en el área de estudio y se distribuyen en distintos tipos de ambientes, dos de ellas (*P. sulphuratus* y *C. formosa*) las comparten La Entrega y el Órgano y resultaron ser dominantes solo en La Entrega.

Las comunidades más similares podrían serlo porque son cercanas entre sí geográficamente, este fenómeno había sido descrito anteriormente por Whittaker como el “decaimiento de la similitud con la distancia” y se podría dar por tres mecanismos principales: 1) la disminución de la similitud ambiental con la distancia; 2) la configuración del ambiente y 3) la aparición de barreras ambientales en un gradiente espacial y temporal y la capacidad de dispersión de las especies, estos tres mecanismos no son mutuamente excluyentes (Calderón-Patrón, *et al.*, 2012) y podrían ser evaluados en investigaciones futuras. Además la naturaleza de los ambientes circundantes podría influir en los ensambles y composición de las comunidades de los manglares adyacentes, haciéndolas distintas entre si (Santos y Tellería, 2006).

Existió mayor recambio de especies en secas que en lluvias esto se puede deber a que durante la época de lluvias los recursos se reparten más homogéneamente a través del paisaje adyacente al manglar (selva baja caducifolia, vegetación secundaria y matorral xerófilo), al contrario que en la época de secas donde existe una reducción de recursos. Las aves podrían realizar migraciones locales a los manglares cercanos desde los hábitats que ocupan durante otra época del año (Levey y Styles, 1994), estos movimientos podrían reflejarse como un incremento en la diversidad  $\beta$ . A su vez, el término de la época de migración de aves neárticas a principios de la época de secas puede conducir al aumento en el recambio de especies.

Majahual y Boca vieja compartieron algunas especies con abundancias similares que no son comunes en otros sitios (*Anhinga anhinga*, *Cochlearius cochlearius*, *Gallinula galeata* y *Actitis macularis*), estas son especies con requerimientos de hábitat más restrictivos hacia humedales con menos influencia humana como el caso de *C. cochlearius* (Dickerman y Juárez, 1971).

En cuanto al recambio de especies dominantes durante secas las comunidades comparten menos especies dominantes, por lo que las especies fueron dominantes en unos sitios y en otros no; por ejemplo La Entrega y El Órgano tuvieron una similitud alta, sin embargo *Callocita formosa* solo fue dominante en La Entrega. Otro caso fue el de Majahual y San Agustín que compartieron algunas especies con abundancias diferentes, las especies dominantes en Majahual fueron raras o menos abundantes en San Agustín y viceversa (Majahual: *Leptotila verreauxi*, *Pitangus sulphuratus* y *Campylorhynchus rufinucha*. San Agustín: *Columbina inca*, *Tyrannus melancholicus* e *Icterus gularis*).

## Conclusiones

- Se registraron 117 especies durante el conteo por puntos, esto equivale al 40% de la avifauna que enlista el plan de manejo del PNH, e incluso es superior a la riqueza de aves reportada para otros ambientes dentro del polígono del parque; nuestros resultados muestran la necesidad de la implementación de monitoreos constantes dentro del parque y su área de influencia, así como la actualización de los datos biológicos relacionados con la avifauna.
- La presente investigación muestra una parte de la riqueza de aves presentes en los manglares de la costa de Huatulco, haciendo necesario el aumento del esfuerzo de muestreo y así recabar más información para comprender a un mayor nivel la composición y abundancia de especies.
- Con los datos obtenidos se apreció un aumento en la diversidad  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  durante la época de secas (enero, marzo y mayo de 2017), posiblemente atribuido a los cambios anuales que presentan los ambientes adyacente el manglar.
- El recambio y riqueza local de las especies podría relacionarse con la distancia geográfica entre los siete manglares estudiados.
- Las migraciones de especies locales y neárticas podrían influir en los cambios de diversidad  $\beta$  durante la temporada de secas.

## **Recomendaciones**

1. Implementar monitoreos mensuales o bimestrales para llevar un registro de los cambios de riqueza y abundancia anual.
2. Además la realización de monitoreos durante la época de migración, en distintos puntos del PNH y su área de influencia, uniendo fuerzas con asociaciones civiles, grupos de observación de aves y sociedad civil, pueden contribuir considerablemente a la obtención de información avifaunística que en esta zona es escasa. Los Conteos Navideños de Aves de The Audubon Society son una excelente oportunidad para hacer partícipe a la costa de Huatulco de actividades relacionadas a la obtención de información y conservación de las aves
3. Para futuras investigaciones en los manglares de Huatulco recomendamos aumentar el esfuerzo de muestreo, con duración de más de un año y el aumento del número de puntos en los sitios donde queda parte del manglar por explorar como Boca vieja y Salina.
4. Abrir campos de estudio sobre la movilidad de las aves, de esta manera se pueden conocer los movimientos latitudinales que realicen o a lo largo de la costa, a su vez nos permitirán conocer posibles límites entre las poblaciones dentro de la comunidad de cada sitio.



# Capítulo Tres

Análisis de las relaciones entre las características espaciales del manglar con la composición y diversidad de la comunidad de aves.

## Resumen

Los manglares de la costa de Huatulco han sufrido detrimentos en su cobertura como se mostró en el capítulo 1. Las aves podrían ser afectadas de forma positiva o negativa por esos cambios. Por lo que en este capítulo unificamos los dos componentes analizados anteriormente (espaciales y biológicos), la cobertura del manglar (Capítulo 1), su fragmentación, la estacionalidad y la presencia de agua y su relación con la composición y diversidad de aves analizada en este capítulo.

Se determinaron variables espaciales y biológicas como: Área de parche, presencia o ausencia de cuerpos de agua, temporada y gremios alimenticios, a través de análisis de Escalamiento Multidimensional MDS se encontraron las relaciones entre estos factores y la composición y abundancia de la comunidad de aves.

Al realizar los análisis encontramos que la combinación de parches de diferentes tamaños favorece la heterogeneidad espacial del hábitat por lo que las aves tienen distintas oportunidades para aprovechar el hábitat. Resaltamos la importancia biológica de manglares pequeños como Majahual, pues presentan oportunidades para las aves frente a las diversas perturbaciones en los manglares con mayor área y cercanos a este sitio. Aunque los manglares más pequeños no tienen la misma riqueza y composición que los manglares de mayor extensión, podrían permitir la conectividad entre parches de otros ambientes. La presencia y la permanencia de agua durante todo el año en los humedales regula la abundancia y la composición en las comunidades. La modificación de la topografía por rellenos, aunado a la contaminación por aguas residuales en San Agustín, ha conducido a la baja permanencia de agua en su superficie y la mala calidad la misma; claramente estos factores influyen en la abundancia y composición de la comunidad de aves.

La mayor similitud en composición, mayor abundancia y cantidad de gremios de aves se pudieron observar en los sitios de manglar con mayor tamaño, número de parches y con características topográficas que les permiten la presencia de importantes cantidades de agua durante todo el año. Las aves piscívoras, carnívoras de invertebrados, insectívoras, omnívoras y granívoras estuvieron presentes en la mayoría de los sitios estudiados; las características como puntos secos y puntos con agua dentro de los sitios de estudio claramente influyeron en el número de especies que los ocuparon a lo largo del año. Los cambios estacionales en los hábitats adyacentes como la selva baja caducifolia, podrían propiciar migraciones locales de algunas aves hacia los manglares.

## Metodología

### Relación de las variables espaciales de manglar con la composición y diversidad de aves en Parque Nacional Huatulco

Se determinaron algunas variables espaciales del manglar, como área del parche y la presencia de cuerpos de agua, para buscar posibles relaciones entre estas con los cambios en composición y diversidad de la avifauna a lo largo de un año (**Tabla 5**) (Ralph, *et al.*, 1996).

**Tabla 7. Variables espacio temporales que se tomarán en cuenta y la forma en la que se medieron u obtuvieron.**

<b>Variables espaciales</b>	<b>Forma de medición o de obtención</b>
<b>Área de parche</b>	Análisis de fragmentación a través de Fragstat®
<b>Presencia o ausencia de cuerpos de agua</b>	Obtención in situ
<b>Temporada: Lluvias/ secas</b>	División de los meses de monitoreo por época del año
<b>Gremio alimenticio</b>	Obtención por bibliografía especializada

### Obtención del área de parches (Ha) y su relación con la riqueza de aves:

Las imágenes satelitales de la zona de Huatulco fueron pre-procesadas y clasificadas para poder realizar los análisis de cobertura que se discutieron en el capítulo 1. Estas imágenes fueron analizadas en el programa Fragstat® para calcular el tamaño de parche de manglar observados para 2016. Se utilizó este parámetro ya que es la fuente de información más importante contenida en el paisaje y se relaciona con el nivel de fragmentación.

Al obtener las áreas de parche de cada sitio, con la finalidad de organizarlas en rangos (0-10 ha, 10-100 ha y 100-1000) se obtuvo el área acumulada de las áreas correspondientes a cada rango. Posteriormente, a cada rango se le asignó una categoría (0-10 ha parches pequeños, 10-100 ha parches medianos, 100-1000 ha parches grandes) para relacionarlos con la riqueza de especies de aves registradas durante las visitas bimestrales. Cada sitio fue contrastado con el resto de los lugares monitoreados con una prueba H o Kruskal Wallis en el programa SPSS®.

### Relación de la presencia de agua, temporalidad y gremios alimenticios en la composición y la diversidad:

Para encontrar las posibles correlaciones entre las variables (tamaño del parche y status de protección: PNH y zona de influencia) y la diversidad (abundancia y riqueza) se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) en PRIMER 7©.

El MDS es un método no paramétrico que se compone de un conjunto de técnicas, tienen como objetivo la representación de datos a través de la construcción de una configuración de puntos cuando se conoce una determinada información sobre proximidades entre objetos (Linares, 2001).

Este método utiliza medidas de semejanza que permiten expresar numéricamente el vínculo existente entre variables y ha sido aplicado ampliamente para la comparación de datos que se encuentran en una escala discontinua (Clarke y Warwick,). Al estar basado en rangos de distancias, tiende a linealizar la relación entre las distancias ambientales y las distancias biológicas (Linares, 2001; Clarke y Warwick, 2001).

Se construyeron dos matrices de datos de abundancia y riqueza utilizando en la primera el sitio (Boca vieja, Salina, Majahual, San Agustín, Chachacual, Órgano y Entrega), temporada (lluvias, secas) y la presencia de agua, variables que fueron relacionadas con la composición y la abundancia. La segunda matriz consistió en relacionar la temporada y el sitio con los gremios alimenticios (piscívoros, carnívoros de invertebrados, insectívoros, omnívoros, herbívoros, carroñeros, carnívoros de vertebrados, granívoros, frugívoros y nectarívoros) para evaluar el efecto de la complejidad del hábitat en la composición de la comunidad de aves asociada (Clarke y Warwick, 2001).

El MDS dio como resultado una gráfica de configuración de las muestras en un número específico de dimensiones, en la que las distancias relativas que separan los puntos están en el mismo rango que las disimilaridades relativas. Estas distancias se interpretan como: puntos muy agrupados representarán muestras muy similares en cuanto a la diversidad de la comunidad, y puntos separados corresponderán a diferentes valores de diversidad (Clarke y Gorley, 2006).

Este análisis se realizó en el Programa PRIMER7® que contiene el algoritmo necesario para el análisis, el cual realiza un total de 100 repeticiones del análisis para generar el mejor MDS de acuerdo a los datos de entrada. El valor del stress indica que tan confiables son las interacciones entre las muestras representadas en las gráficas (Clarke y Gorley, 2006). El valor resultante se interpretó de acuerdo a lo mostrado por la tabla.

**Tabla 8 Interpretación del Valor del Stress de un MDS, tomado de Linares 2001.**

<b>Tamaño del Stress</b>	<b>Interpretación</b>
<b>0.2</b>	Pobre
<b>0.1</b>	Regular
<b>0.05</b>	Bueno
<b>0.025</b>	Excelente
<b>0.00</b>	Perfecto

## Resultados y Discusiones

Los humedales suelen ser ecosistemas biodiversos compuestos por múltiples comunidades, la distribución de sus especies depende de distintos factores que abarcan escalas espaciales y temporales desde globales hasta locales. Las comunidades ecológicas son complejas; ya que existe un número importante de variables del hábitat que influyen sobre las especies, incluyendo la gran cantidad de especies que coexisten e interactúan en gremios multiespecíficos de competidores que, brindan estructura a las comunidades naturales (Palacio-Nuñez, 2008).

Debido a la diversidad de interacciones entre las aves y su entorno, es complicado lograr el entendimiento completo de los factores que regula las poblaciones mediante un análisis que considere muchas variables (Ziman, 2003). Por ello, para el presente capítulo se tomaron en cuenta cuatro variables que se consideran por diversos autores como las más importantes: 1) el área del parche es una variable importante porque de ella dependerán los espacios disponibles para ser usados por las diferentes especies de aves; 2) la presencia de cuerpos de agua que proporcione recursos alimenticios diferentes a los que se encuentran en tierra firme, por ejemplo una mayor cantidad de insectos, peces e incluso anfibios; 3) la época del año que para el caso de Oaxaca se considera que solo hay dos estaciones, secas y lluvias, mismas que limitan la cantidad y variedad de recursos alimenticios para las especies de aves; y 4) el gremio alimenticio al cual pertenecen las especies, que dependerá directamente de las tres variables descritas anteriormente (Robins, *et al.*, 1989; Lefebvre y Poulin, 1996, Kushlan, 2002; Santos y Tellería, 2006; CONAGUA y PRONACOSE, 2014; Navarro, *et al.*, 2015).

### Efecto de las características del manglar (tamaño de manglar y fragmentación)

Según el análisis de fragmentación correspondiente a 2016, los manglares de la costa de Huatulco se encuentran fragmentados en diferentes grados; debido a su tamaño, los manglares grandes están más fragmentados, mientras que los parches más pequeños se observan como una sola unidad (**Figura 19**). Tomando en cuenta el área acumulada de los parches de 0-10 ha, Boca vieja tiene mayor área de parches pequeños a comparación a los demás sitios (13.89 ha), el que tiene menor área acumulada es la Entrega (0.54 ha); en el rango de 10 a 100 ha el que mayor área acumulada tiene es Salina (55.01 ha) seguido de Boca vieja (31.33 ha).

Salina y Boca vieja son los únicos sitios en donde encontramos parches de distintos tamaños (chicos y medianos) y son los dos sitios con mayor riqueza de aves (ver Capítulo 2). Para analizar la importancia de estos sitios se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis (**Figura 20**). Este análisis evidenció que la riqueza de aves en los manglares de Huatulco no se relaciona significativamente con el nivel de fragmentación ( $p=0.05$ ), muy probablemente

debido a que la combinación de parches de manglar de diferentes tamaños propicia más heterogeneidad espacial en el hábitat, favoreciendo con ello la presencia de una mayor cantidad de especies. Debido a que las aves son animales de mayor movilidad pueden hacer uso de varios fragmentos, pues para ellas pueden presentar distintas oportunidades para hacer uso de las condiciones y recursos presentes en cada parche (Navarro, *et al.*, 2015).

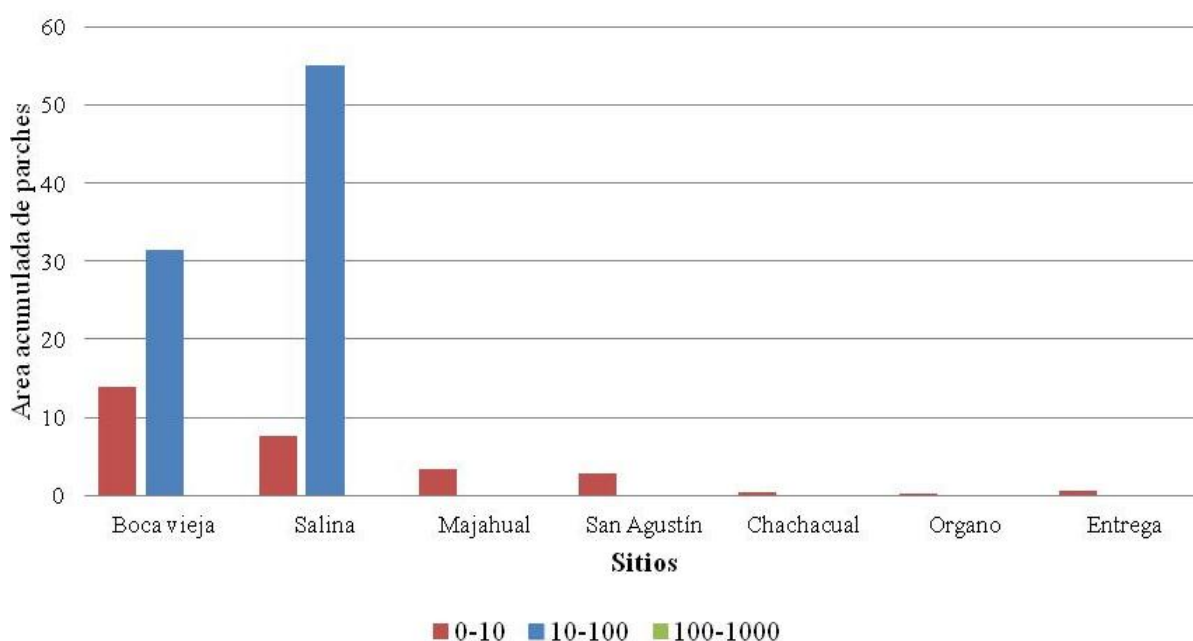


Figura 29. Área acumulada de parches en cada sitio de manglar en Huatulco

Tabla 9. Número de parches de manglar en cada sitio.

	Boca vieja	Salina	Majahual	San Agustín	Chachacual	Órgano	Entrega
Número de parches	22	85	23	6	2	3	1

En el caso de Majahual, se observó que tiene un mayor número de fragmentos pequeños, que Boca vieja (Tabla 9); sin embargo, la riqueza de especies y la composición de la comunidad de aves es muy similar entre ellas (ver Capítulo 2). Es importante resaltar que a pesar de que las diferencias en la cobertura del manglar son muy grandes, en Majahual el manglar ocupa 3.28 ha mientras que Boca vieja ocupa 45.23 ha (ver Capítulo 1), parecieran estar jugando un papel similar para las aves de la región. Una de las características principales de ambas áreas de manglar es que tienen un cuerpo de agua permanente de una dimensión considerable y que no presentó signos de impacto antropogénico (obs. *in situ*).

En estos cuerpos de agua se observaron diversas especies de animales, incluidos insectos y peces, que pudieran estar sirviendo de alimento para varias especies de aves.

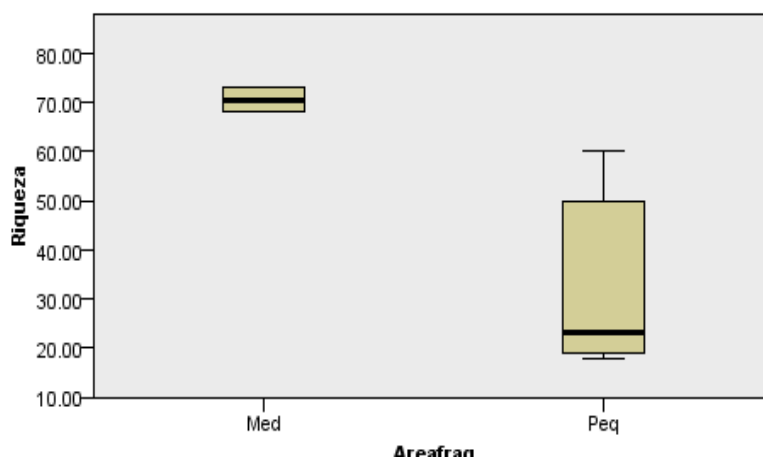


Figura 20. Prueba de Kruskal Wallis para riqueza y área de parche.  $p=0.05$

La similitud de la composición de la comunidad de aves entre los sitios podría explicarse tomando en cuenta su alta movilidad, ya que podrían estar realizando movimientos de Boca vieja a Majahual y viceversa. Este tipo de movimientos se realizan entre los humedales más próximos, según Green y Figuerola (2003), la riqueza de aves en un humedal aumenta con la proximidad a otros humedales. Esta peculiaridad de las especies de aves, evita que se presente un efecto de aislamiento, complicando con ello dar una explicación a la relación entre las características de un humedal determinado y las aves que en él habitan. De acuerdo a este argumento, lo lógico sería que la composición de especies de La Salina, con Boca vieja y Majahual fuera más similar; sin embargo, existen varios factores adicionales que evitan observar similitudes marcadas en la comunidad de aves asociada a estos sitios.

A pesar de que Majahual tiene una importancia biológica relevante, queda claro que el tamaño de los humedales de Boca vieja y Salina influye de manera importante en la riqueza de especies que poseen. En ellos se observó una mayor heterogeneidad ambiental y un número más amplio de hábitats por utilizar, características que han sido reportadas como determinantes para la diversidad de especies de aves asociadas (Blanco, 2000; Green y Figuerola, 2003). Por lo contrario cuando el área del manglar se reduce y el número de fragmentos es bajo, la heterogeneidad del hábitat es más reducida y por consiguiente también la riqueza, abundancia, composición y distribución de las especies de aves (Ornelas y Lara, 2003), tal es el caso del manglar de La Entrega que tiene una baja diversidad al igual que Chachacual y El Órgano.

Uno de los sitios más interesantes fue el manglar de Bahía San Agustín que se encuentra fuertemente afectado por causas antrópicas; es aquí donde se observa el mayor grado de fragmentación del hábitat (Capítulo 1) y donde es evidente el efecto de las descargas de aguas negras y grises a los pocos cuerpos de agua presentes (obs. *in situ*). El análisis

muestra que actualmente cuenta con 2 ha de manglar distribuidas en 6 parches, todos ellos menores a 10 ha, que sirven de hábitat para 50 especies de aves, posicionando a este sitio en un punto medio de diversidad en referencia a este grupo taxonómico. Cabe destacar que la composición de la comunidad está altamente influenciado por el nivel de fragmentación y calidad del hábitat, lo que podría explicar la baja abundancia de especies de aves acuáticas y la abundancia más elevada de especies generalistas como *Coragyps atratus*, *Columbina inca*, *Tyrannus melancholicus* e *Icterus gularis*. La fragmentación ha sido reportada como responsable de la presencia de algunas especies, sobre todo donde existe intervención humana, ya que se propician condiciones de refugio o disponibilidad de alimento que favorece a especies adaptadas al ambiente humano, y disminuyendo la presencia de especies silvestres o con requerimientos más estrictos (Blanco, 2000; Ornelas y Lara, 2003; Cárdenas, *et al.*, 2003; Navarro, *et al.*, 2015). Así mismo, las descargas de aguas negras favorecen el incremento de insectos y las larvas de los mismos, lo que proporciona una fuente alternativa y permanente de alimento para varios de los gremios de aves registrados.

Generalmente, los esfuerzos de conservación se dirigen hacia la protección grandes extensiones de hábitat mediante reservas, ya que un hábitat grande y continuo puede sostener una comunidad más grande y diversa. Así mismo, se considera que este tipo de reservas garantizan que los procesos ecológicos entre las diferentes especies que los habitan se mantengan y, consecuentemente, los servicios ecosistémicos que proporcionan (Maiorano, *et al.*, 2008). Por el otro lado, se ha considerado que los hábitats pequeños solo pueden sostener una población pequeña y que estas poblaciones son más susceptibles a las extinciones locales o en el caso de las aves el abandono de los sitios donde habitaban (Navarro, *et al.*, 2015). Sin embargo, en la zona de estudio los manglares pequeños como Majahual tienen una importancia biológica alta al proporcionar zonas de refugio frente a las diversas perturbaciones que se presentan en los manglares con mayor área y cercanos a este sitio. Cabe destacar que este planteamiento solo es válido para Majahual pero no para los demás sitios pequeños y con menor número de parches (San Agustín, Chachacual, Órgano y La Entrega) pues estos cumplen con lo que indican Green y Figuerola (2003) sobre que en los sitios más pequeños las especies presentes suelen ser las más abundantes y comunes en el área (Green y Figuerola, 2003).

#### El efecto de la presencia de agua y la temporalidad en la comunidad de aves asociadas a manglar.

Los resultados arrojados por el MDS (**Figura 21**) para relacionar la abundancia con la temporalidad y la presencia de agua mostraron que los sitios con mayor abundancia de aves fueron los que permanecieron con agua durante la época de secas. Durante la época de lluvias, algunos puntos de sitios como San Agustín, Majahual permanecieron secos y



presentaron bajas abundancias. Lo mismo sucede en El Órgano durante la época de secas donde los puntos de muestreo que permanecen secos tienen menor abundancia, mientras que en los puntos que presentaron agua existe mayor abundancia. Por lo tanto podemos darle un mayor peso a la presencia de agua que a la temporalidad, aunque esta última está claramente relacionada con la presencia de agua, la capacidad de la cuenca para retenerla entre otros factores (tipo de suelo y tasa de evapotranspiración) va a limitar la abundancia de las aves en las comunidades.

En cuanto a la composición de las comunidades (**Figura 22**), Boca vieja y Majahual tienen la misma composición durante la época de secas y lluvias en puntos donde el agua permanece. En los puntos donde no permanece el agua durante la época de secas la composición es distinta. Al parecer, la presencia de agua en algunos puntos a lo largo del año en Majahual y Boca vieja mantiene condiciones más estables y permite la permanencia de especies que hacen uso de recursos relacionados con el agua. Varios autores han discutido ampliamente el papel que juegan los cuerpos de agua en la diversidad de la comunidad de aves asociadas a los humedales (Blanco, 2000; Green y Figuerola, 2003).

Uno de los problemas principales es que al modificarse la calidad del agua, los recursos acuáticos disponibles para las aves son diferentes influyendo de manera directa en la composición, ocupación y uso que le den algunas especies de aves (Green y Figuerola, 2003). Por ejemplo, Majahual y Boca vieja presentaron cuerpos de agua de buena calidad sin presencia de coloraciones fuera de lo normal, basura y con una comunidad diversa de peces (obs. *in situ*). Los cuerpos de agua en ambos sitios tienen un tamaño considerable, por lo que pudiera considerarse que estos cuerpos de agua son más similares en cuanto a disponibilidad de recursos y estructura del hábitat, lo que favorece consecuentemente la similitud en la riqueza y estructura de la comunidad de aves registrada en ambos sitios. En el caso de las aves acuáticas, Blanco (2000) indica que su diversidad asociada a un humedal dependerá del régimen hidrológico, tamaño, heterogeneidad del sitio, y estructura de la vegetación; ya que las aves acuáticas se distribuyen de forma agregada dentro del humedal, porque están asociadas a las características ambientales locales.

En el caso de San Agustín, la comunidad de aves mantiene una composición similar durante secas y lluvias independientemente de la presencia de agua (**Figura 22**). Cabe destacar que esto es en los puntos donde durante lluvias solo se registra un ligero encharcamiento por efectos de mar de fondo, ya que las condiciones no se mantienen debido a los cambios en la topografía por los rellenos a los que se ha sujeto el sitio no lo han permitido. Sin embargo, existe un fragmento en donde el agua se mantiene el resto del año y presenta una composición distinta a los sitios sin agua, en esa porción han sido observadas aves acuáticas e insectívoras sin abundancias importantes.

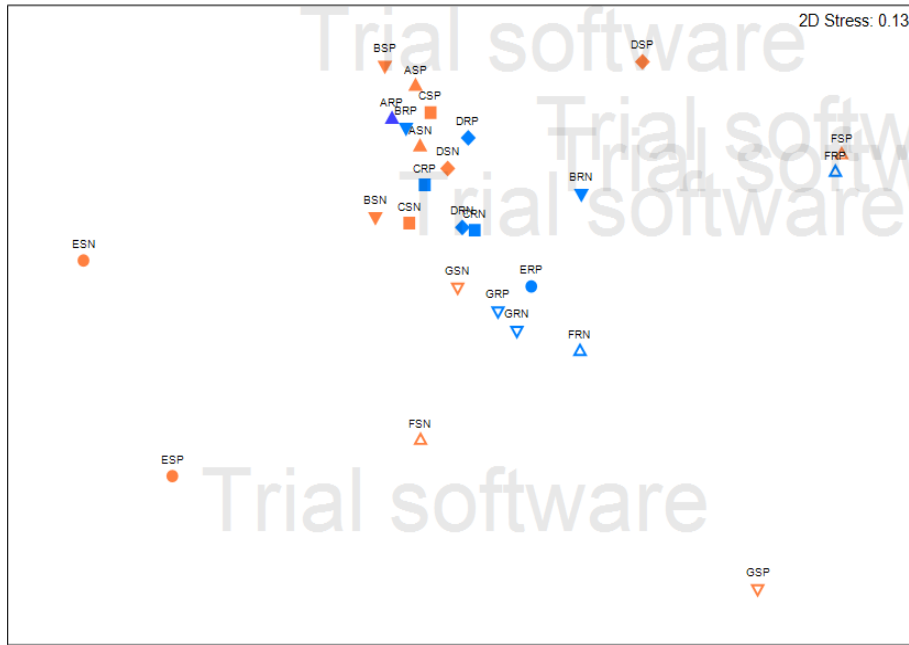


Figura 21. Prueba MDS para abundancia A=Boca vieja, B=Salina, C= Majahual, D=Sn Agustín, E=Chachacual, F=Organo, G=Entrega, R=Lluvias, S=Secas, N=sin agua, P=con agua.

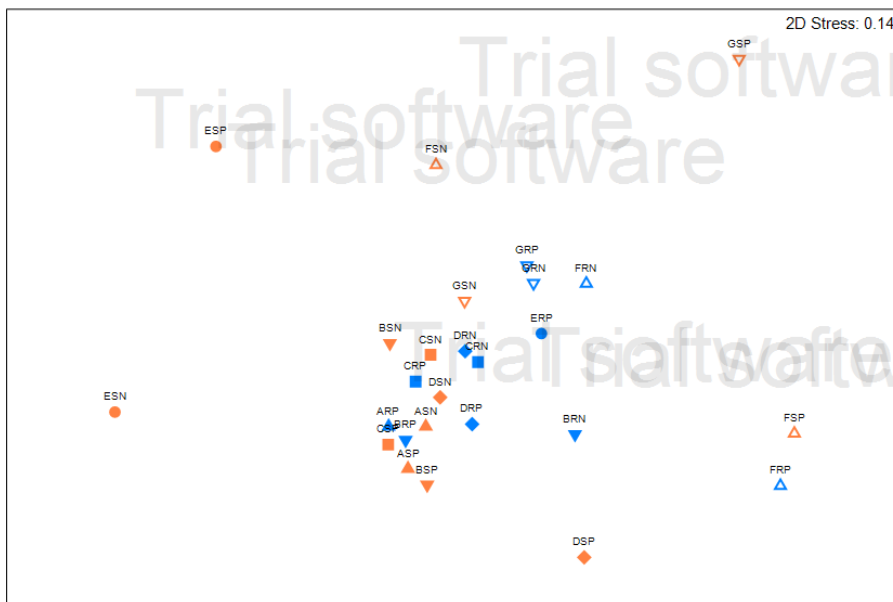


Figura 22. Prueba MDS para composición A=Boca vieja, B=Salina, C= Majahual, D=Sn Agustín, E=Chachacual, F=Organo, G=Entrega, R=Lluvias, S=Secas, N=sin agua, P=con agua

La estructura de la comunidad de aves en relación a sus gremios alimenticios y la influencia de la temporalidad

El análisis de MDS para medir la relación entre gremios alimenticios y la estacionalidad mostró la clara división de tres grupos, a continuación describiremos los dos grupos principales

Todos los sitios comparten dos gremios: insectívoros y omnívoros, posteriormente las diferencias en la presencia de gremios y número de especies que los componen comienzan a diferenciar dos grupos (**Figura 23**). El primer grupo está formado por los sitios pequeños El Órgano, La Entrega y Chachacual que tienen un bajo número de parches y baja permanencia de agua. El segundo grupo está formado por los sitios de mayor tamaño Boca vieja, Salina, Majahual y San Agustín que tienen mayor número de parches y permanencia de agua durante todo el año en la mayoría o parte de su extensión. Los sitios que tuvieron mayor semejanza en sus gremios durante lluvias y secas fueron Majahual (Cr y Cs) San Agustín (DS y DR) y Boca vieja (AR y AS).

Majahual presentó una similitud entre los gremios presentes durante lluvias y secas de 63%, durante la temporada de secas se hicieron presentes especies de hábitos frugívoros y nectarívoros. San Agustín durante lluvias tuvo un 60% de similitud en sus gremios con la época de secas diferenciándose en la presencia de especies herbívoras, nectarívoras y carnívoras de invertebrados durante la época de lluvias. En el caso de Boca vieja la similitud entre la época de lluvias y secas es del 75% y se diferencian en la presencia de especies carroñeras en la temporada de secas (**Figura 23 y 24**).

Los sitios que tuvieron mayor número de especies piscívoras fueron Boca vieja (9 especies) y Salina (10 especies) durante la época de secas (**Figura 24**), estos son sitios que como anteriormente habíamos resaltado conservan cierta cantidad de agua durante todo el año, Las aves pertenecientes a este gremio guardan una estrecha relación con los recursos tróficos, eso se puede observar más durante la época de secas las superficies de agua son más someras concentrando los recursos alimenticios, por lo que las aves piscívoras aprovechan de forma más eficiente el recurso (Green y Figuerola, 2003; Mohd-Azlan, *et al.*, 2014). Otro sitio donde hay especies piscívoras es en Majahual; sin embargo, son menos las especies ya que el cuerpo de agua en el sitio es profundo favoreciendo a especies buceadoras como *Anhinga anhinga*, también presente en los cuerpos de agua más profundos de Boca vieja. Las especies que pescan desde percha o de pie se localizan en las partes más someras de los tres sitios, entre estas especies se encuentran: *Mycteria americana*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Anhinga anhinga*, *Pelecanus erythrorhynchos*, *Pelecanus occidentalis*, *Ardea herodias*, *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Egretta tricolor*, *Egretta rufescens*, *Butorides virescens*, *Pandion haliaetus*, *Megaceryle torquata* y *Chloroceryle amazona*.

Las especies carnívoras de invertebrados también estuvieron en mayor cantidad en Boca vieja (8 especies) y Salina (8 especies) durante la temporada de secas. Las aves vadeadoras buscan moluscos y crustáceos en el fango del fondo lagunar, orillas y sedimentos que han quedado expuestos durante esta temporada, las aguas someras disminuyen el gasto energético al realizar la búsqueda de alimento más eficiente, este comportamiento esta dado en si mayoría en función del tamaño de las patas, así como también tamaño y forma del pico de cada especie (Green y Figuerola, 2003; Bojorges-Baños, 2011b); incluso en

*Cochlearius cochlearius* el nivel del agua durante la reproducción está estrechamente relacionado su éxito reproductivo (Hernández, 2000).

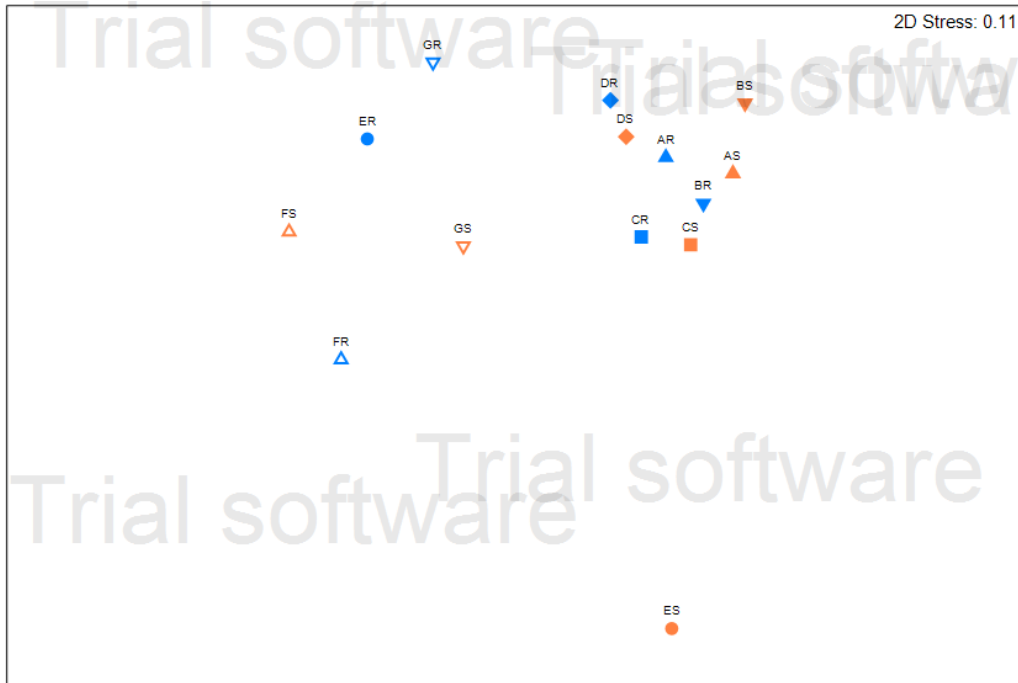


Figura 33 Prueba MDS para gremios alimenticios A=Boca vieja, B=Salina, C= Majahual, D=Sn Agustín, E=Chachacual, F=Organo, G=Entrega, R=Lluvias, S=Secas

Cabe destacar que en San Agustín ocurre un comportamiento contrario, las aves que se alimentan de invertebrados están presentes durante la temporada de lluvias pero no durante secas, según nuestras observaciones en campo, durante lluvias el escurrimiento de la cuenca alta y el fenómeno de mar de fondo permiten la breve presencia de invertebrados y peces, por lo tanto las aves aprovechan ese recurso, posteriormente las aves pertenecientes a este gremio abandonarían el lugar por el agotamiento o muerte del recurso. Las aves pertenecientes a este gremio durante la época de secas fueron: *Egretta caerulea*, *Nyctanassa violacea*, *Cochlearius cochlearius*, *Eudocimus albus*, *Platalea ajaja*, *Himantopus mexicanus*, *Recurvirostra americana*, *Actitis macularius*, *Tringa flavipes*, *Tringa melanoleuca*, *Phalaropus tricolor*. En San Agustín durante la época de lluvias estuvieron presentes: *Nyctanassa violacea* e *Himantopus mexicanus*.

Es notorio que las aves que hacen mayor uso de los manglares son las aves acuáticas; sin embargo en este estudio también se registraron especies con otros hábitos alimenticios por lo que la superficie inundable, la estructura de la vegetación y la cobertura vegetal explican casi en su totalidad la presencia y la ausencia de las especies (Kushlan, *et al.*, 2002 Bojorges-Baños, 2011b). Estos gremios estuvieron distribuidos en casi todos los sitios con diferencias en el número de especies, estos gremios fueron más dominantes en la

composición de los sitios con cuerpos de agua totalmente estacionales y pequeños (Chachacual, Organo y La Entrega) por lo que las aves acuáticas no los utilizan.

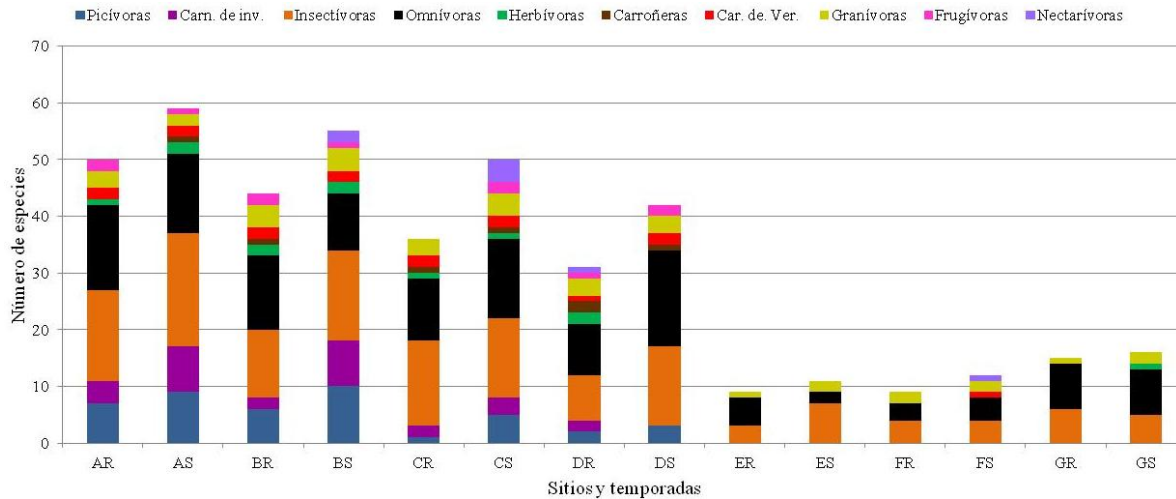
El gremio de las aves insectívoras fue más numeroso en Boca vieja (20 especies) durante la época de secas en los puntos donde se concentra mayor humedad (observ. *In situ*). Si bien las aves insectívoras siempre tienen presencia en los manglares, podemos observar que sus número aumentan durante la época de secas al ser estos sitios donde los insectos están presentes durante todo el año. Las especies insectívoras registradas en el sitio durante secas fueron: *Morococcyx erythropygus*, *Crotophaga sulcirostris*, *Dryocopus lineatus*, *Xiphorhynchus flavigaster*, *Empidonax difficilis*, *Tyrannus melancholicus*, *Vireo bellii*, *Vireo solitarius*, *Vireo gilvus*, *Campylorhynchus rufinucha*, *Thryophilus pleurostictus*, *Mniotilta varia*, *Parkesia noveboracensis*, *Oreothlypis ruficapilla*, *Geothlypis trichas*, *Setophaga americana*, *Setophaga pitaiayumi*, *Setophaga petechia*, *Setophaga dominica* y *Cardellina pusilla*.

Basándonos en lo que postulan Levey y Stiles (1994) para hábitats tropicales, podemos inferir que los recursos para las aves insectívoras suelen ser más constantes y predecibles en el tiempo y el espacio dentro del manglar, a comparación de los recursos para aves nectarívoras y frugívoras. Esta variabilidad es muy notable durante la época de secas cuando los árboles de la selva baja caducifolia pierden su follaje y el matorral xerófilo termina su época de floración, por lo que la selva baja queda más expuesta a variaciones climáticas. Como el manglar conserva su follaje durante todo el año, las aves insectívoras e incluso las nectarívoras que habitan en los bordes de la selva (para complementar la ingesta de proteínas suelen alimentarse de insectos) podrían realizar movimientos estacionales hacia el manglar.

El sitio con mayor número de especies omnívoras fue San Agustín (17 especies) durante la época de secas. La pérdida de cobertura de manglar podría facilitar la accesibilidad a los recursos dentro de este hábitat, sobre todo durante la época de secas cuando las presiones por la disminución en la calidad del agua y la falta de humedad en el sitio, restringe las actividades de especies dependientes del agua. Las especies registradas en el sitio durante la época de secas fueron: *Melanerpes chrysogenys*, *Pitangus sulphuratus*, *Megarynchus pitangua*, *Calocitta formosa*, *Turdus rufopalliatus*, *Oreothlypis celata*, *Setophaga coronata*, *Sporophila torqueola*, *Cardinalis cardinalis*, *Cyanocompsa parellina*, *Quiscalus mexicanus*, *Molothrus aeneus*, *Icterus cucullatus*, *Icterus pectoralis*, *Icterus gularis*, *Icterus graduacauda* y *Cassiculus melanicterus*.

Los gremios restantes: herbívoros, carroñeros, carnívoros de vertebrados, granívoros, frugívoros y nectarívoros, estuvieron presentes con un bajo número de especies en los sitios estudiados. Por ello, podemos concluir que los manglares representan para estos gremios cierta importancia, pero sus necesidades no se cumplen esencialmente en este hábitat; sin

embargo el manglar podría representar para ellas hábitat de descanso o propiciar conectividad entre los hábitats de estas especies.



**Figura 24. Número de especies correspondientes a cada gremio, sitio y temporada. A= Boca vieja, B= Salina, C= Majahual, D= San Agustín, E=Chachacual, F= El Órgano, G= La Entrega, R= Lluvias y S= Secas**

Para concluir podemos resaltar que la disponibilidad de recursos durante la época de secas propicia migraciones locales; ya que las aves residentes de la costa de Huatulco dependen de recursos muy variables a través del año, este comportamiento no es nuevo y es muy común en aves neotropicales (Levey y Stiles, 1994; Mohd-Azlan, *et al.*, 2014). A su vez, durante la época de lluvias el manglar brinda recursos para las aves migratorias, por lo que estos hábitats deben ser una prioridad para la conservación (Kushlan, *et al.*, 2002). Además, la mayor cantidad de gremios de aves se pudo observar en los sitios de manglar con mayor tamaño, número de parches y con características topográficas que les permiten la presencia de importantes cantidades de agua durante todo el año. Es claro que los cuerpos de agua definen parcialmente la conducta y los procesos tróficos del ecosistema (Cupul, 2004) y esto resalta el papel que juega la heterogeneidad ambiental y la disponibilidad de recursos durante la época de secas. Los ensambles de la comunidad de aves nos permiten estudiar los procesos ecológicos como la repartición de recursos entre especies, la diversidad de la diversidad de plantas en los manglares y de sus ambientes adyacentes, así como la fenología de sus recursos tróficos (artrópodos, peces, moluscos, incluso otras aves), todos estos son determinantes locales de la estructura de los ensambles y la composición de aves en cada sitio estudiado (Mohd-Azlan, *et al.*; 2014). Consideramos que tomar en cuenta los hábitos tróficos de las especies de la comunidad nos puede dar una mejor idea de la salud de cada uno de los sitios, por lo que Boca vieja, Salina, y Majahual, conservan los servicios ecosistémicos para las aves y los organismos de los que dependen.

Es importante destacar que la baja cantidad de gremios en San Agustín podría ser muestra de la pérdida paulatina de calidad de hábitat, por la simplificación de este mismo, Cupul (2004) indica que la desaparición o deterioro de los ecosistemas costeros pueden provocar detrimentos poblacionales importantes. Por ejemplo, se ha observado que algunas aves responden de manera positiva a la fragmentación y baja calidad de agua. A pesar de las condiciones de contaminación, deforestación y fragmentación de manglar en San Agustín, la comunidad registrada fue medianamente diversa indicando que aún mantiene algunos servicios ambientales. Esto es particularmente esperado, ya que existen especies generalistas que se beneficiarán, tal es el caso de especies nectarívoras, frugívoras y granívoras que se mueven en busca de recursos, sobre todo las que lo hacen altitudinalmente (Ornelas y Lara, 2003). Debido a lo anterior, es importante la restauración de San Agustín para beneficio de la comunidad de aves y como atractivo turístico de la región.

Durante las visitas a campo se observó que los cuerpos de agua en La Salina y San Agustín presentan problemas serios de contaminación. La Salina presenta un proceso fuerte de eutroficación del cuerpo de agua que ha sido asociada a los cultivos de papaya que se encuentran a su perifería y que la torna de un color rosado (ver Capítulo 1); esto resulta en una modificación de los recursos disponibles para las aves, por lo que la comunidad es dominada por los gremios insectívoros y omnívoros. El estatus trófico (es decir de nutrientes) es otra variable clave, con mayor abundancia y diversidad de aves en humedales mesotróficos y eutróficos, y menor en los oligotróficos y hipereutróficos (Green y Figuerola, 2003). Por su parte, los cuerpos de agua presentes en los manglares de San Agustín son usados como vertederos de aguas negras y grises, por lo que las funciones ecológicas del manglar se han simplificado a causa de la fragmentación y la modificación del régimen hidrológico (Blanco, 2000), así como por la salinidad, pH y la razón entre superficies de vegetación emergente y aguas abiertas (Green y Figuerola, 2003).

## Conclusiones

- La riqueza de aves en los manglares de Huatulco no se relaciona directamente con el nivel de fragmentación, si no la combinación de parches de diferentes tamaños que favorecen la heterogeneidad espacial del hábitat por lo que las aves tienen distintas oportunidades para aprovechar el hábitat.
- Se resalta la importancia biológica de manglares pequeños como Majahual, ya que frente a las diversas perturbaciones que se presentan en los manglares con mayor área y cercanos a estos sitios pequeños, proveen hábitat para diversas especies.
- Los manglares más pequeños aunque no tienen la misma riqueza y composición que los manglares de mayor extensión, están interconectados con su entorno permitiendo la conectividad entre parches de otros ambientes.
- La estacionalidad no se relacionó directamente con la abundancia y riqueza de las aves, aunque guarda relación con la presencia y cantidad de agua presente en los humedales. Se observó que la permanencia del agua durante todo el año regula la abundancia y la composición en las comunidades
- La modificación de la topografía por rellenos aunado a la contaminación por aguas residuales en San Agustín, ha conducido a la baja permanencia de agua en su superficie y la mala calidad de agua donde se mantiene, claramente estos factores influyen en la abundancia y composición de la comunidad de aves.
- Los gremios más extendidos en los sitios de estudio fueron las aves picívoras, carnívoras de invertebrados, insectívoras, omnívoras y granívoras; las características de los puntos de monitoreo (secos y con agua) claramente influyeron en el número de especies que los ocuparon a lo largo del año.
- Los cambios estacionales en los hábitats adyacentes, como la selva baja caducifolia, podrían impulsar a las aves insectívoras o nectarívoras a realizar movimientos hacia el manglar durante la época de secas, lo cual resalta la importancia de este ecosistema para la comunidad de aves de la región.
- San Agustín aun conserva algunos servicios ambientales, sin embargo si continua la pérdida de hábitat, el ensamble de la comunidad de aves se podría inclinar más hacia especies generalistas u oportunistas.



## Recomendaciones

- Incluir en los programas de monitoreo de avifauna y su ambiente la estimación del tamaño y tendencia de poblaciones que indiquen cambios en el hábitat a través del tiempo, por ejemplo las aves acuáticas.
- Generalmente se censan las poblaciones de aves pero no se realizan caracterizaciones del hábitat, consideramos que esa última parte le da mayor significado al trabajo de monitoreo al identificar amenazas latentes (contaminantes, enfermedades, cambios tróficos en el agua) y poder prevenirlas o buscar soluciones antes de que tengan un mayor efecto en el ecosistema.
- Se debe realizar un cambio de esquema hacia la protección y mayor esfuerzo en la conservación de manglares pequeños, que aunque no tienen la misma riqueza y composición que los manglares de mayor extensión, permiten la conectividad entre parches de manglar y de estos con otros ambientes.
- Los esfuerzos de conservación de las aves y los manglares en la zona costera de Huatulco no deben solamente estar enfocados en los aspectos institucionales, pues con los cambios constantes de administración estos pueden disminuir o perderse. Por lo tanto, la sociedad civil debe ser involucrada ya que ellos, cuando se crea el interés preciso, son los que se encargan de dar continuidad a los procesos de manejo y conservación.
- Al ser la costa de Huatulco una zona extensa para su conservación y estudio, el Parque Nacional Huatulco podría implementar programas de monitoreo con interesados de la sociedad civil. La ciencia ciudadana ha mostrado ser muy efectiva en recabar datos biológicos y los grupos de observación de aves formados por ciudadanos con suficiente experiencia pueden ser partícipes en el entrenamiento de todas las personas interesadas en la observación de aves y la conservación del ecosistema.

## Literatura citada:

- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray & E. Sala. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *PNAS*. **105**(30):10456–10459.
- Acosta-Velázquez, J. y A. Ruíz-Luna. 2007. Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). En: Funes, R. R., J. Gómez G., R. Palomares G. Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. Primera edición. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Agráz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., J. López-Portillo, F.J. Flores-Verdugo y J.J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- Aguilar, A. H., R. Mora Z. & C. Vargas B. 2014. Atmospheric correction methodology for Aster, RapidEye, Spot 2 and Landsat 8 images with ENVI FLAASH module software. *Revista Geográfica de América Central*. (53): 39-59.
- Aksornkoe, S., C. Arroyo, F. Blasco, P. R. Burbridge, C. Hung Tuck, G. Cintron, J. D. S. Davie, J. A. Dixon, L. S. Hamilton, E. Heald, P. Lal, A. Luna Lugo, F. Pannier, B. Ramdial, P. Saeger, Y. Schaeffer-Novelli, J. Schweithelm, S. C. Snedaker, P. D. L. Srivastava, R. Weidenbach & B. Yokel. 1991. Handbook for Mangrove Area Management. United Nations Environment Programme and East-West. 123 p.
- Almazán-Nuñez, C., F. Puebla-Olivares y A. Almazán-Juárez. 2009. Diversidad de aves en bosque de pino-encino del centro de Guerrero, México. *Acta Zoológica Mexicana*. **25**(1): 123-142.
- Arenas S., J. F. Haeger y D. Jordano. 2011. Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre (*Pyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo Mediterráneo. *Revista de Teledetección* **35**:55-71.
- Ball, M. C. 1980. Patterns of Secondary Succession in a Mangrove Forest of Southern Florida. *Oecología*. **44**: 226-235.
- Berger, W. H. & Parker, F. L. 1970. Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science*, **168**(3937): 1345-1347.
- Berlanga, H., Gómez de Silva, V. M. Vargas-Canales, V. Rodríguez-Contreras, L.A Sánchez-González, R. Ortega-Álvarez y R. Calderón-Parra. 2015. Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes. CONABIO, México D.F. 117 p.
- Blanco D. 2000. Los Humedales como Hábitat de aves acuáticas. *Boletín UNESCO, Uruguay*. : 208-217.
- Binford, C. L. 1989. A distributional survey of the Birds of the Mexican State of Oaxaca. *American Ornithologist Union. Ornithological Monographs* (43): 43-58.
- Bojorges-Baños, J.C. 2011a. Riqueza de especies de aves de la microcuenca del río Cacaluta, Oaxaca, México. *Universidad y Ciencia*. **27**(1):87-95.
- Bojorges-Baños, J. C. 2011b. Riqueza y diversidad de especies de aves asociadas a manglar en tres sistemas lagunares en la región costera de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **82**: 205-215
- Buckland, S. T., S. J. Marsden & R. E. Green. 2008. Estimating bird abundance: making methods work. *Bird Conservation International*. 18: S91-S108.
- Buzai, G.D. 2010. Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica: sus cinco conceptos fundamentales. Capítulo 7. En: Buzai, G.D. (Editores) *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. Universidad Nacional de Luján – GESIG. Luján. p. 163-195.
- Calderón-Patrón, J. M., C. E. Moreno y I. Zuria. 2012. La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **83**: 879-891
- Cantú, J. C., Gómez de Silva H. y M. E. Sánchez. 2011. El Dinero Vuela: El Valor Económico del Ecoturismo de Observación de Aves. *Defenders of Wildlife*. Washington. 56 p.
- Cárdenas, G., C. A. Harvey, M. Ibrahim y B. Finegan. 2003. Diversidad y riqueza de aves en diferentes hábitats en un paisaje fragmentado en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* **10**: 39-40

- Carvalho, C. B. V., R. H. F. Macedo & J. A. Graves. 2007. Reproduction of blue-black grassquits in central Brazil. *Braz. J. Biol.* **67**(2): 275-281.
- Casler, L. C. y E. E. Esté. 1996. Avifauna del manglar en la península Ana María Campos, estrecho del lago de Maracaibo, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas.* **30**(1): 9-44.
- Castillo-Guerrero, J. A., E. González-Medina y M. A. González-Bernal. 2009. Patrones de presencia y abundancia de aves terrestres en la isla Saliaca, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 211-218.
- Chavez, Jr. P. S. 1996. Image-Based Atmospheric Corrections- Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.* **62**(9): 1025-1036.
- Clarke, K. R. y R. N. Gorley. 2006. *Primer v6: User Manual/Tutorial.* PRIMER-E. Reino Unido. p. 75
- Clarke, K. R. & R. M. Warwick. 2001. Chapter 4: Ordination of samples by multidimensional scaling (MDS). En: Clarke, K. R., R. M. Warwick. *Change in marine communities: An approach to statistical analysis an interpretation.* 2a edición. PRIMER-E. Reino Unido. 5 p.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. *Manglares de México.* CONABIO. México. 35 p.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2009. *Manglares de México: Extensión y distribución.* CONABIO. México. p. 16-64.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2013. *Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo.* CONABIO. México. p. 9-41, 76-81, 95-99.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) y PRONACOSE (Programa Nacional Contra la Sequia). 2014. *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía.* Consejo de Cuenca Costa de Oaxaca. México. 68 p.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Nacionales Protegidas). 2003. *Programa de Manejo Parque Nacional Huatulco,* México. CONANP. México. 205p.
- Contreras, E. F. y O. Castañeda L. 2004. La biodiversidad de las lagunas costeras. *Ciencias.* (076): 46-56.
- Cuartero, A. y Felicísimo, A. M. 2003. Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión. *GeoFocus* (3): 45-57.
- De la Vega, C. F. y R. H. Ramírez M. 2010. *Dendrometría.* Universidad autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 292 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-ista de especies en riesgo. Última actualización: 2010-30-12. Consultada en: 2015-10-08. PROFEPA. Disponible en URL: [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2013a. *Ley General De Bienes Nacionales.* Última actualización: 2013-03-07. Consultada en: 2016-01-02. Cámara de Diputados. Disponible en URL: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/267.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2013b). *Ley General de Vida Silvestre.* Última actualización: 2013-07-06. Consultada en: 2015-10-08. Normateca. Disponible en URL: [http://www.normateca.gob.mx/Archivos/66\\_D\\_3503\\_11-06-2013.pdfv](http://www.normateca.gob.mx/Archivos/66_D_3503_11-06-2013.pdfv)
- Diario Oficial de la Federación (DOF) 2014 a. *Ley De Aguas Nacionales.* Última actualización: 2014-08-11. Consultada en: 2016-01-02. Cámara de Diputados. Disponible en URL: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_110814.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_110814.pdf)

Diario Oficial de la Federación (DOF) 2014 b. Reglamento De La Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. Última actualización: 2014-10-31. Consultada en 2016-01-02. Cámara de Diputados. Disponible en URL:[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGDFS\\_311014.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGDFS_311014.pdf)

Dickerman, R. W., y C. Juarez, I. 1971. Nesting studies of the Boat Billed Heron *Cochlearius cochlearius* at San Blas, Nayarit, Mexico. *Ardea*. 59: 1-16.

Díaz-Gallegos, J. R., J. F. Mas y A. Velázquez. 2008. Monitoreo de los patrones de deforestación en el corredor biológico Mesoamericano, México. *Interciencia*. 33(12):882-890

Enríquez-Lenis, M. L., J. C. Sáenz y M. Ibrahim. 2006. Riqueza, abundancia y diversidad de aves y su relación con la cobertura arbórea en un agropaisaje dominado por la ganadería en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 45: 49-57

Escalante, E. T. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos*. 52: 53-56

Escalona, L. I., D. Argáez G. y M. A. González O. 2013. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Última actualización: 2003-30-09 . Consultada en: 2015-16-04. Humedales de México. Disponible en URL: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1321RIS.pdf>

Field, C. 1996. La restauración de ecosistemas de manglar. Sociedad Internacional para Ecosistemas de Manglar. Okinawa, Japón. 227 p.

Flores-Verdugo, F. J., C. M. Agraz-Hernández y D. Benítez-Pardo. 2005. Creación y restauración de ecosistemas de manglar: principios básicos. En: Moreno-Casasola P., E. Peresbarbosa R., A. C. Travieso Bello (Eds.). Manejo costero integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología. México. p. 1093-1110.

Galán-Cisneros, E. 2016. Alertó a autoridades extraño fenómeno en la laguna “La Salina” en Huatulco. Nota periodística en: La historia de Oaxaca Marca. Publicación: 25 de febrero, 2016. Consultado en: 15/01/2018. Disponible en: <http://www.diariomarca.com.mx/2016/02/alerto-a-autoridades-extrano-fenomeno-en-la-laguna-la-salina-en-huatulco/>

García, Ch. M., C. L. Casler, N. Méndez y E. H. Weir. 2008. Avifauna terrestre del bosque de manglar del refugio de fauna silvestre Ciénaga de los Olivitos, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 42:(4):521-549.

Gibbons, W. D. y G. D. Richard. 2006. Birds. En: Sutherland W. J. (editor). *Ecological Census Techniques: A Handbook*. 2006. Segunda edición. Cambridge University Press. 410 p.

Gilman, E., J. Ellison, N. Duke & C. Field 2008. Threats to mangroves from climatic change and adaptation options. *Aquatic Botany*.

Golay, J., M. Kanevski, C. D. Vega O. & M. Leuenberger. 2014. The multipoint Morisita index for the analysis of spatial patterns. *Physica A*. 406: 191-202

Green, J. A. y J. Figuerola. 2003. Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales En: Paracuellos, M. 2003. Editor. *Ecología, manejo y conservación de los humedales*. Instituto de Estudios Almerienses. España. p. 47- 70.

Green, P. E., P. J. Mumby, A. J. Edwards, C. D. Clark. 2000. *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. UNESCO. Paris. 316 p.

González-Bravo, B. y J. Meraz. 2010. Listado de aves en las islas de Oaxaca y la costa adyacente. *Ciencia y Mar*, 14(42): 29-34.

Halfiter, G y Ros, M. 2013. A strategy for measuring biodiversity. *Acta Zoológica Mexicana*. 29(2): 400-411.

Harvey D, J. Gregory, M. Hoffert, A. Jain, M. Lal, R. Leemans, S. Raper, T. Wigley y J. Wolde. 1997. Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación del IPCC. Reporte técnico. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 47pp.

Hayes, J. J. y O. Castillo. 2017. A new approach for interpreting the Morisita Index of aggregation through quadrat size. *International Journal of Geo-Information*. 6(10): 1-15

Hernández, V. S. 2000. Aves acuáticas del estero la Manzanilla, Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana*, Instituto de Ecología. (080): 143-153.

IEEDS (Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable), SEMARNAT y CONANP. 2012. Programa Estatal de Humedales Costeros de Oaxaca (PEHCO). Última actualización: 2012. Consultada en: 24 octubre 2015. Disponible en: <http://www.ecologiaysustentabilidad.oaxaca.gob.mx/sites/www.ecologiaysustentabilidad.oaxaca.gob.mx/misc/humedales/PEHCO.pdf>

Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, **113**(2): 363-375.

Jost, L. y J. A. González-Oreja. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana* **56** (1-2): 3-14

Kabii, T., y P. Bacon. 1997. Protección de humedales y áreas costeras y su hábitat. En: Proceedings of the XI World Forestry Congress Volumen 2 Antalya, Turkia. Última actualización: 1997. Consultada en: 08 octubre 2010. FAO. Disponible en: [http://www.fao.org/forestry/docrep/wfcxi/publi/PDF/V2S\\_T11.PDF](http://www.fao.org/forestry/docrep/wfcxi/publi/PDF/V2S_T11.PDF)

Kjerfve, B. & D. J. Macintosh. 1997. Climate change impacts on mangrove ecosystems. En: Kjerfve, B., L. Drude de Lacerda, E. H. Salif Diop (eds.). 1997. Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa. UNESCO. Francia. p. 1-8.

Kushlan, J. A., M. J. Steinkamp, K. C. Parsons, J. Capp, M. Acosta, C. M. Coulter, I. Davidson, L. Dickson, N. Edelson, R. Elliot, R. M. Erwin, S. Hatch, S. Kress, R. Milko, S. Miller, K. Mills, R. Paul, R. Phillips, J. E.

Saliva, B. Sydeman, J. Trapo, J. Wheeler, y K. Wohl. 2006. El Plan para la Conservación de Aves Acuáticas de Norteamérica, Versión 1. Washington, DC, U.S.A. 78 p. Última actualización: 2006. Consultada en: 2011-02-08. BirdLife. Disponible en URL:<http://www.birdlife.org/action/science/species/waterbirds/index.html>

Kwak, J. T. & J. T. Peterson. 2007. Community indices, parameters and comparisons. En: Guy, C.S. and M.L. Brown, eds. Analysis and interpretation of freshwater fisheries data. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. pp. 677-763.

Landis, J. & Koch G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*; **33**(1):159-74.

Lefebvre, G. & B. Poulin. 1996. Seasonal abundance of migrant birds and food resources in Panamanian mangrove forests. *Wilson Bulletin*. **108**(4): 748-759

Levey, D. J. y G. Stiles. 1994. Variabilidad de recursos, hábitat y movimientos estacionales en aves neotropicales: implicaciones para la evolución de la migración a larga distancia. *Bird Conservation International*. **4**:109-113.

Linares, G. 2001. Escalamiento multidimensional: conceptos y enfoques. *Investigación Operacional*. **22** (2):173-183.

López, A. J. P., O. J. Espejo, V. y J. L. Herra E. 2005. Validación de una metodología de clasificación de imágenes satelitales en un entorno orientado a objetos. *Cianecia Investigación Academia Desarrollo, Ingeniería* **10**(1): 61-69.

López, G. A. M. y L. G. Williams. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. **78**: 7-15

López-Medellín, X., A. Castillo y E. Ezcurra. 2011. Contrasting perspectives on mangroves in arid Northwestern Mexico: Implications for integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*. (54): 318-329.

Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio & E. Moran. 2002. Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research.

Maiorano, L., Falcucci A, y L. Boitani. 2008. Size-dependent resistance of protected areas to land-use change. *Proceedings of the Royal Society*. **275**: 1297-1304.

Martínez, M.L. y M. T. Valverde. 1992. Las dunas costeras. *Ciencias*. **26**: 34-42

McKee, K.L., K. Rogers y N. Saintilan. 2012. Response of salt marsh and mangrove wetlands to change in atmospheric CO<sub>2</sub>, climate, and sea level. *In*: B.A. Middleton, ed. Global change and the function and distribution of wetlands. Series Global Change Ecology and Wetlands Vol.1. Springer. Países Bajos. p:63-96.

Mellink, E., J. Luévano y I. Zuria. 1998. Nota sobre los pelecaniformes, ciconiiformes, gallitos marinos (Sterninae) y rayadores (Rynchopinae) de la Costa Chica de Oaxaca, México. *Ciencias Marinas*. **24**(4): 367-388.

- Mohd-Azlan J. 2010. Community Ecology of Mangrove Birds. Tesis de Doctorado. Research Institute of Environment and Livelihood. Faculty of Engineering, Health, Science and the Environment. Charles Darwin University. Australia. 216 p.
- Mohd-Azlan, J., R. A. Noske, M. & J. Lawes. 2014. Resource Partitioning by Mangrove Bird Communities in North Australia. *Biotropica* **46**(3): 331–340
- Moreira, M. A. 1996. Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. *Ambiente y Desarrollo* **12**(2):80-86
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Moreno, C. E., F. Barragán, E. Pineda y N. P. Pavón. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 1249-1261
- National Geographic Society. 2008. Field guide to birds of North America. 3 ed. National Geographic Society, Washington, DC. 480 p.
- Navarro, R. M. del C., L. F. González G., R. Flores V. R. y T. Amparán S. 2015. Fragmentación y sus implicaciones: Análisis y reflexión documental. Universidad de Guadalajara. México. 61 p.
- Navarro-Sigüenza, A. G., M. F. Rebón-Gallardo, A. Gordillo-Martínez, A. T. Peterson, H. Berlanga-García y L. A. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **85**: 476-495
- Niclós, C. R, M. J. E. Navarro, J. A. Valiente y M. J. Barbera. 2010. Clasificación periódica de coberturas terrestres a escala regional con imágenes MODIS. *GeoFocus* **10**: 1-17.
- Noske R. A. 1996. Abundance, zonation and foraging ecology of birds in mangroves of Darwin Harbour, Northern Territory
- Orians, G. H. y J. F. Wittenberger. 1991. Spatian and temporal scales in habitat selection. *The American Naturalist*. **137**: S29-S49.
- Ornelas, J. F. y Lara, C. 2003. Conservación de interacciones planta-ave. En: Gómez de Silva, H., A. Oliveras de Ita. Eds. Conservación de aves: Experiencias en México. CiPAMEX, sección Mexicana. 408 p.
- Oyola N. L. 2009. Identificación de humedales del norte grande de Chile utilizando técnicas geomáticas en imágenes satelitales Landsat. Tesis de Maestría. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 48 p.
- Palacio-Nuñez, J., D. Jiménez-García D., G. Olmos-Oropeza y J. Enríquez-Fernandez J. 2008. Distribución y solapamiento espacial de las aves acuáticas y ribereñas en un humedal de zonas semiáridas del NE de México. *Acta Zoológica Mexicana*. **24**(2):125-141.
- Palacios-Sánchez L. A., F. Paz-Pellat, J. L. Oropeza-Mota, B. Figueroa-Sandoval, M. Martínez-Menes, C. A. Ortiz-Solorio y A. Exebio-García. 2006. Clasificador genérico de objetos en imágenes ETM+. *Agrociencia* **40**: 613-626.
- Pascual R. F., F. Paz P., M. Martínez M., E. Palacios V. E. Mejía S. y E. Rubio G. 2010. Clasificador genérico de objetos en imágenes AVHRR Terra Latinoamericana **28** (1): 1-13
- Pereyra, L. C. y C. E. Moreno. 2013. Divide y vencerás: revisión de métodos para la partición de la diversidad. *Revista Chilena de Historia Natural*. **86**: 231-239
- Peterson, R.T. y E.L. Chalif. 2000. Aves de México. Editorial Diana. México, D.F.
- Peterson, R.T. 2009. Peterson Field Guide to Birds of North America. 4a edición. Houghton Mifflin Harcourt. Massachusetts.
- Preston, E. E. & E. Murrell B. 1998. A Field Guide to the Birds of Mexico and Adjacent Areas: Belize, Guatemala, and El Salvador. 3a edición. University of Texas. Texas. 285 p.

- Puyravaud, J. P., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forrest Ecology and Management*. 117: 593-596
- Ralph, C. J., R. y Terrell D. 2005. *Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference*. Volume 1 Asilomar, California. p. 1256-1262.
- Ralph, C. J., G. R. Geupel, P. Pyle, T. E. Martin, D. F. DeSante y B. Milá. 1996. *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Pacific Southwest Research Station Albany, California. 46 p.
- Ramírez-Bastida, P. y A. G. Navarro-Sigüenza. 2013. *Aves Acuáticas y Marinas de las Costas de Colima, Guerrero y Oaxaca*. Informe final. CONABIO proyecto HJ006. México D.F. Consultada en: 10 de marzo de 2016. CONABIO. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfHJ006.pdf>
- Ramos, R. M. 2010. *Caracterización del hábitat y abundancia de nueve aves sujetas a protección especial*. En el Manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. 46 p.
- RAMSAR. 2000. *Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional*. En: *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales*. Oficina de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. 60 p.
- RAMSAR.2010.El cuidado de los humedales: una respuesta al cambio climático. Última actualización: 2010. Consultada en: 24 de octubre de 2015. RAMSAR. Disponible en: <http://www.parquenacionalhuatulco.org.mx/pdf/folleto%20humedales%20ramsar%20dmh%2020101409606700.pdf>
- Riaño, D., J. Salas y E. Chuvieco. 2000. Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicada a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá*. p. 222-239.
- Rioja-Nieto, R., E. Barrera-Falcón, G. Hinojosa-Arango y R. Riosmena-Rodríguez. 2013. Benthic habitat diversity modeling and landscape metrics for the selection of priority conservation areas using a systematic approach: Magdalena Bay, Mexico, as a case study. *Ocean and Coastal Management* **82**:95-103.
- Rivera, R. E. 2011. *Diagnóstico Ecológico, Social y Cultural del Parque Nacional Huatulco*. CONANP. Última actualización: 2011. Consultada en: 26 de octubre de 2015. CONANP. Disponible en: [http://www.conanp.gob.mx/rendicion\\_cuentas/pdf/pdf\\_rendicion\\_cuentas/Diagnostico\\_Huatulco.pdf](http://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/pdf/pdf_rendicion_cuentas/Diagnostico_Huatulco.pdf)
- Rodríguez, O. 2016. Se tiñe de rojo una laguna de Huatulco y provoca muerte de fauna. *Nota periodística en: Milenio*, Publicación: 25 de febrero 2016. Consultado en: 15/01/2018. Disponible en: [http://www.milenio.com/estados/Se\\_tine\\_de\\_rojo\\_laguna\\_de\\_Huatulco\\_y\\_provoca\\_muerte\\_de\\_fauna\\_0\\_689931352.html](http://www.milenio.com/estados/Se_tine_de_rojo_laguna_de_Huatulco_y_provoca_muerte_de_fauna_0_689931352.html)
- Rodríguez-Salazar, M. E., Álvarez-Hernández S. y Bravo-Nuñez, E. 2001. *Coefficientes de asociación*. Universidades Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Plaza y Valdés. México. 168 p.
- Ruiz, B. T., M. D.M. y Bojorges Baños, J. C. 2014. Estimating species richness and density of a bird community in a coastal lagoon on the Mexican Pacific. *Huitzil*. **15**(2): 64-81.
- Rzedowski J., 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital. CONABIO. México. p 104-121
- Saenger, P. 2002. *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Springer Science & Business Media. 360 p.
- Salas-Morales, S. H., L. Schibli, A. Nava-Zafra y A. Saynes-Vásquez. 2007. Flora de la costa de Oaxaca, México: lista florística comentada del Parque Nacional Huatulco. *Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana*. **81**:101-130.
- Sanjurjo, R. E. y S. Welsh C. 2005. Una descripción de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica*. **074**:55-68.
- Santos, T. y J. L. Tellería. 2006. Pérdida de Fragmentación del hábitat: efectos sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* **15**(2):3-12
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. *Plan de manejo tipo para el manejo, conservación y aprovechamiento sustentable de aves acuáticas y playeras*. Última actualización: 2010-28-08. Consultada

en: 2015-08-10. SEMARNAT. Disponible en  
URL:<http://www.semarnat.gob.mx/tramites/gestionambiental/vidasilvestre/Documents/PMT/PMT%20Aves%20acu%C3%A1ticas%20y%20playeras.pdf>.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2009. La reforestación de los manglares en la costa de Oaxaca, manual comunitario.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Servicio Canadiense de la Vida Silvestre & U.S. Fish and Wildlife Service. 2004. Plan de Manejo de Aves Acuáticas del Norteamérica, Guía estratégica: Consolidación de los Fundamentos Biológicos. SEMARNAT, Servicio Canadiense de la Vida Silvestre, U.S. Fish and Wildlife Service. 22 pp.

SIRE-CONAFOR (Sistema de Información para la Reforestación-Comisión Nacional Forestal). 2003. Paquetes tecnológicos. *Avicennia germinans*. Última actualización: 2003-20-2. Consultada en: 2016-10-12. CONAFOR. Disponible en URL: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/888Avicennia%20germinans.pdf>

SIRE-CONAFOR (Sistema de Información para la Reforestación-Comisión Nacional Forestal). 2003. Paquetes tecnológicos. *Conocarpus erectus*. Última actualización: 2003-20-2. Consultada en: 2016-10-12. Disponible en URL: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/904Conocarpus%20erectus.pdf>

SIRE-CONAFOR (Sistema de Información para la Reforestación-Comisión Nacional Forestal). 2003. Paquetes tecnológicos. *Laguncularia racemosa*. Última actualización: 2003-20-2. Consultada en: 2016-10-12. Disponible en URL: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/937Laguncularia%20racemosa.pdf>

SIRE-CONAFOR (Sistema de Información para la Reforestación-Comisión Nacional Forestal). 2003. Paquetes tecnológicos. *Rhizophora mangle*. Última actualización: 2003-20-2. Consultada en: 2016-10-12. Disponible en URL: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/997Rhizophora%20mangle.pdf>

Toledo, O., A. 2005. Marco conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México, p. 25-52. En: Botello A. V., J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Uribe, P. J. y L. E. Urrego G. 2009. Gestión ambiental de los ecosistemas de manglar. *Gestión y ambiente*. **12**(2): 57-72.

Villaseñor, G. J. F. y E. Santana. 2002. El monitoreo de poblaciones: herramienta necesaria para la conservación de aves en México. En: Gómez de Silva H., A. Oliveras de Ita. 2002. Conservación de aves experiencias en México. CIPAMEX. Primera edición. p. 224-262.

Wier, M. A., T. a. Tattar & E. J. Klekowski. 2000. Disease of Red Mangrove (*Rhizophora mangle*) in Southwest Puerto Rico caused by *Cytospora rhizophorae*. *Biotropica*. **32**(2): 299-306

Wolda, H. 1981. Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*. **50**: 296-302

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, R. R. Twilley y R. H. Day. 2014. Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. (20): 39-75

Ziman, J. 2003 ¿Qué es la ciencia? Ediciones AKAL. Cambridge University Press. Madrid. p.137.





## ANEXO I

**Tabla 10 Legislación mexicana que contempla la protección de los manglares y ambientes asociados.**

Ley/Norma	Artículo	Declaración
<b>Ley General de Vida Silvestre</b>	Artículo 60 TER	Prohíbe la remoción, relleno, trasplante, poda o cualquier actividad que afecte la integridad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; su productividad natural; de la capacidad de carga; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o de las interacciones entre el manglar y sus hábitats adyacentes y de influencia, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos.
	Artículo 99	Las obras y actividades de aprovechamiento no extractivo que se lleven a cabo en manglares deben sujetarse a las disposiciones previstas por el artículo 28 de la LEGEIPA.
<b>LEGEIPA</b>	Artículo 28	Establece la necesidad de realizar estudios de Impacto Ambiental para la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites o condiciones para proteger el ambiente, preservar y restaurar los ecosistemas, previos a la autorización de SEMARNAT.
	Artículo 15	Sobre la gestión integrada de los recursos hídricos, conservación de recursos naturales, ecosistemas vitales y el ambiente. Lineamientos para la formulación, implantación y evaluación de la
<b>Ley de Aguas Nacionales</b>		

		planificación y programación hídrica.
	Artículo 86	Sobre los sistemas de monitoreo y servicios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua, protección de los recursos hídricos, cumplimiento de condiciones de descarga de aguas residuales, de condiciones de las NOM
	Artículo 86 BIS 1	Establece las atribuciones para la preservación de los humedales que se vean afectados por los regímenes de flujo de aguas nacionales.
	Artículo 96 BIS	Sobre la reparación del daño ambiental, incluyendo los que comprometan a ecosistemas vitales, debiendo sujetarse en sus actuaciones en términos de ley.
<b>Ley General de Bienes Nacionales</b>	Artículo 119 incisos I II y III	<p>I: Cuando la costa presente playas, la zona federal marítimo terrestre estará constituida por la faja de 20 m. de ancho de tierra firme, transitable y contigua a dichas playas o, a las riberas de los ríos, desde la desembocadura de éstos en el mar, hasta cien metros río arriba.</p> <p>II: La totalidad de la superficie de los cayos y arrecifes ubicados en el mar territorial, constituirá zona federal marítimo terrestre.</p> <p>III: En el caso de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales de agua marina que se comuniquen directa o indirectamente con el mar, la faja de veinte metros de zona federal marítima terrestre se contará a partir del punto a donde llegue el mayor embalse anual o</p>

		límite de la pleamar, en los términos que determine el reglamento.
<b>Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable</b>	Artículo 14 inciso I: e)	Sobre la zonificación forestal: I: Zonas de conservación y aprovechamiento restringido o prohibido e) Áreas cubiertas con vegetación de manglar o bosque mesófilo de montaña.
	Artículo 28 inciso I	Para la cuantificación de las superficies en los programas de manejo forestal: I. Áreas de conservación y aprovechamiento restringido: superficies con vegetación forestal que por sus características físicas y biológicas están sometidas a un régimen de protección, con aprovechamientos restringidos que no pongan en riesgo el suelo, la calidad del agua y la biodiversidad.
	Artículo 74	La poda de arbustos y árboles para la obtención de leña para uso doméstico no podrá realizarse en organismos que sirvan como refugio temporal o permanente de fauna silvestre.
	Artículo 119	Los terrenos forestales seguirán considerándose como tales aunque pierdan su cubierta forestal por acciones ilícitas, plagas, enfermedades, incendios, deslaves, huracanes o cualquier otra causa.
<b>NOM-059-SEMARNAT-2010</b>		Categoriza los mangles: Laguncularia racemosa Avicennia germinans Rhizophora mangle Conocarpus erectus Como especies Amenazadas.
<b>NOM-022-SEMARNAT-2003</b>		Especificaciones para la conservación,

	aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.
<b>NOM-001-SEMARNAT-1996</b>	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y Bienes Nacionales.
<b>NOM-002-PESC-1993</b>	Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
<b>NOM-009-PESC-1993</b>	Establece los procedimientos para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de flora y fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
<b>NOM-012-REC NAT</b>	Establece los criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento de leña para uso doméstico.

Información legal tomada de Agráz-Hernández *et al* 2006 y actualizada de: Ley General De Bienes Nacionales (DOF, 2013 a, Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF, 2014 b) y Ley De Aguas Nacionales (DOF, 2014 a).

ANEXO II

Formato de campo para conteo por puntos

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Día Mes Año

Estado:\_\_\_\_\_ Área:\_\_\_\_\_ No de punto:\_\_\_\_\_ Número de visita:\_\_\_\_\_

Estación:\_\_\_\_\_

Observador:\_\_\_\_\_

Tiempo: \_\_\_\_\_ Visual: I

Auditiva: I

Nº Punt o	Hor a	Especi e	≤ 25 m		= 25 m		≥ 25 m		Aves de paso		de punt o a punt o	Comportamien to
			0-3 mi n	3-5 mi n	0-3 mi n	3-5 mi n	0-3 mi n	3-5 mi n	0-3 mi n	3-5 mi n		


### ANEXO III

Tabla 11 Listado general de especies con estado de conservación, residencia y origen. Pr: Sujeta a protección especial, A: Amenazada, LC: Preocupación menor, NT: Casi amenazada, R: Residente, T: Transitoria, MI: Migratoria de invierno, MV: Migratoria de verano, EN: Endémica, SE: Semiendémica, EX: Exótica, CE: Cuasiendémica, SE: Semiendémica

	NOM-059	IUCN	Residencia	Origen
<b>Anatidae</b>				
<i>Dendrocygna autumnalis</i>		LC	R	
<i>Spatula discors</i>		LC	MI	
<i>Spatula clypeata</i>		LC	MI	
<i>Aythya collaris</i>		LC	MI	
<b>Cracidae</b>				
<i>Ortalis poliocephala</i>		LC	R	EN
<b>Podicipedidae</b>				
<i>Tachybaptus dominicus</i>	Pr	LC	R	
<b>Columbidae</b>				
<i>Columbina inca</i>		LC	R	
<i>Columbina passerina</i>		LC	R	
<i>Leptotila verreauxi</i>		LC	R	
<i>Zenaida asiatica</i>		LC	R, MI	
<b>Cuculidae</b>				
<i>Piaya cayana</i>		LC	R	
<i>Dromococcyx phasianellus</i>		LC	R	
<i>Morococcyx erythropygus</i>		LC	R	
<i>Crotophaga sulcirostris</i>		LC	R	
<b>Caprimulgidae</b>				
<i>Chordeiles acutipennis</i>		LC	MV, MI, R	
<i>Nyctidromus albicollis</i>		LC	R	
<b>Apodidae</b>				
<i>Chaetura vauxi</i>		LC	R, T	
<b>Trochilidae</b>				
<i>Heliomaster longirostris</i>	Pr	LC	R	
<i>Cyananthus latirostris</i>		LC	R	SE
<i>Amazilia beryllina</i>		LC	R	
<i>Amazilia rutila</i>		LC	R	
<b>Rallidae</b>				
<i>Gallinula galeata</i>		LC	R, MI	
<b>Recurvirostridae</b>				
<i>Himantopus mexicanus</i>		LC	R, MI	
<i>Recurvirostra americana</i>		LC	MI, R	
<b>Charadriidae</b>				
<i>Charadrius vociferus</i>		LC	R, MI	
<b>Scolopacidae</b>				



<i>Actitis macularius</i>		LC	MI	
<i>Tringa solitaria</i>		LC	MI	
<i>Tringa melanoleuca</i>		LC	MI	
<i>Tringa semipalmata</i>		LC	MI	
<i>Tringa flavipes</i>		LC	MI	
<i>Numenius phaeopus</i>		LC	MI	
<i>Calidris minutilla</i>		LC	MI	
<i>Limnodromus scolopaceus</i>		LC	MI	
<i>Phalaropus tricolor</i>		LC	T,MI	
<b>Ciconiidae</b>				
<i>Mycteria americana</i>	Pr	LC	MI, R	
<b>Fregatidae</b>				
<i>Fregata magnificens</i>		LC	R	
<b>Phalacrocoracidae</b>				
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>		LC	R	
<b>Anhingidae</b>				
<i>Anhinga anhinga</i>		LC	R	
<b>Pelecanidae</b>				
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>		LC	MI	
<i>Pelecanus occidentalis</i>		LC	R, MI	
<b>Ardeidae</b>				
<i>Ardea herodias</i>		LC	MI, R	
<i>Ardea alba</i>		LC	MI, R	
<i>Egretta thula</i>		LC	MI, R	
<i>Egretta caerulea</i>		LC	MI, R	
<i>Egretta tricolor</i>		LC	MI, R	
<i>Egretta rufescens</i>	Pr	NT	MI, R	
<i>Bubulcus ibis</i>		LC	R, MI	EX
<i>Butorides virescens</i>		LC	R, MI	
<i>Nycticorax nycticorax</i>		LC	R, MI	
<i>Nyctanassa violacea</i>		LC	R, MI	
<i>Cochlearius cochlearius</i>		LC	R	
<b>Threskiornithidae</b>				
<i>Eudocimus albus</i>		LC	R, MI	
<i>Platalea ajaja</i>		LC	MI, R	
<b>Cathartidae</b>				
<i>Coragyps atratus</i>		LC	R	
<i>Cathartes aura</i>		LC	R	
<b>Pandionidae</b>				
<i>Pandion haliaetus</i>		LC	MI, R	
<b>Accipitridae</b>				
<i>Buteogallus anthracinus</i>	Pr	LC	R,MV	
<i>Buteogallus urubitinga</i>	Pr	LC	R	

<i>Rupornis magnirostris</i>		LC	R	
<i>Buteo plagiatus</i>		LC	R	
<i>Buteo platypterus</i>	Pr	LC	T,MI	
<i>Buteo albonotatus</i>	Pr	LC	MI, MV, R	
<b>Trogonidae</b>				
<i>Trogon citreolus</i>		LC	R	EN
<b>Momotidae</b>				
<i>Momotus mexicanus</i>		LC	R	CE
<b>Alcedinidae</b>				
<i>Megaceryle torquata</i>		LC	R	
<i>Megaceryle alcyon</i>		LC	MI	
<i>Chloroceryle amazona</i>		LC	R	
<i>Chloroceryle americana</i>		LC	R	
<b>Picidae</b>				
<i>Melanerpes chrysogenys</i>		LC	R	EN
<i>Dryocopus lineatus</i>		LC	R	
<b>Falconidae</b>				
<i>Caracara cheriway</i>		LC	R	
<i>Falco peregrinus</i>	Pr	LC	R, MI	
<b>Psittacidae</b>				
<i>Eupsittula canicularis</i>	Pr	LC	R	
<i>Amazona albifrons</i>	Pr	LC	R	
<b>Furnariidae</b>				
<i>Xiphorhynchus flavigaster</i>		LC	R	
<b>Tyrannidae</b>				
<i>Empidonax traillii</i>		LC	MI	
<i>Empidonax minimus</i>		LC	MI	
<i>Empidonax difficilis</i>		LC	MI, R	SE
<i>Myiarchus cinerascens</i>		LC	MI, MV, R	
<i>Myiarchus nuttingi</i>		LC	R	
<i>Pitangus sulphuratus</i>		LC	R	
<i>Megarynchus pitangua</i>		LC	R	
<i>Myiozetetes similis</i>		LC	R	
<i>Tyrannus melancholicus</i>		LC	R	
<b>Vireonidae</b>				
<i>Vireo bellii</i>		NT	MI, MV	
<i>Vireo solitarius</i>		LC	MI	
<i>Vireo gilvus</i>		LC	MI, R	
<b>Corvidae</b>				
<i>Calocitta formosa</i>		LC	R	
<b>Hirundinidae</b>				
<i>Progne chalybea</i>		LC	R, MV	
<i>Hirundo rustica</i>		LC	MV, MI, R, T	

<b>Troglodytidae</b>				
<i>Campylorhynchus rufinucha</i>		LC	R	
<i>Pheugopedius felix</i>		LC	R	EN
<i>Thryophilus pleurostictus</i>		LC	R	
<b>Poliopitidae</b>				
<i>Poliopitila caerulea</i>		LC	MI, R	
<i>Poliopitila albiloris</i>		LC	R	
<b>Turdidae</b>				
<i>Turdus rufopalliatu</i>		LC	R	EN
<b>Mimidae</b>				
<i>Melanotis caerulescens</i>		LC	R	EN
<i>Mimus polyglottos</i>		LC	R, MI	
<b>Icteridae</b>				
<i>Cassiculus melanicterus</i>		LC	R	CE
<i>Icterus spurius</i>		LC	MI, MV	
<i>Icterus cucullatus</i>		LC	MI, MV, R	SE
<i>Icterus pustulatus</i>		LC	R	
<i>Icterus pectoralis</i>		LC	R	
<i>Icterus gularis</i>		LC	R	
<i>Icterus graduacauda</i>		LC	R	CE
<i>Molothrus aeneus</i>		LC	R, MV	
<i>Molothrus ater</i>		LC	R, MI	
<i>Quiscalus mexicanus</i>		LC	R	
<b>Parulidae</b>				
<i>Seiurus aurocapilla</i>		LC	MI	
<i>Parkesia motacilla</i>		LC	MI	
<i>Parkesia noveboracensis</i>		LC	MI	
<i>Mniotilta varia</i>		LC	MI	
<i>Oreothlypis celata</i>		LC	MI, R	
<i>Oreothlypis luciae</i>		LC	MI, MV	SE
<i>Oreothlypis ruficapilla</i>		LC	MI	
<i>Geothlypis tolmiei</i>	A	LC	MI	
<i>Geothlypis formosa</i>		LC	MI	
<i>Geothlypis trichas</i>		LC	MI, R	
<i>Setophaga ruticilla</i>		LC	MI	
<i>Setophaga americana</i>		LC	MI	
<i>Setophaga pitaiayumi</i>		LC	R, MV	
<i>Setophaga magnolia</i>		LC	MI	
<i>Setophaga petechia</i>		LC	MI, MV, T, R	
<i>Setophaga coronata</i>		LC	MI, R	
<i>Setophaga dominica</i>		LC	MI	
<i>Cardellina pusilla</i>		LC	MI	
<b>Cardinalidae</b>				

<i>Habia rubica</i>		LC	R	
<i>Cardinalis cardinalis</i>		LC	R	
<i>Granatellus venustus</i>		LC	R	EN
<i>Cyanocompsa parellina</i>		LC	R	
<i>Passerina leclancherii</i>		LC	R	EN
<b>Thraupidae</b>				
<i>Volatinia jacarina</i>		LC	R	
<i>Sporophila torqueola</i>		LC	R	
<i>Saltator coerulescens</i>		LC	R	

## ANEXO IV

		Área de influencia											
		Boca vieja			Salina			Majahual			Entrega		
		Anual	Lluvias	Secas	Anual	Lluvias	Secas	Anual	Lluvias	Secas	Anual	Lluvias	Secas
Diversidad alpha	Q0	68	52	56	73	45	55	60	37	49	23	15	16
	Q1	36	32	28	32	27	21	36	25	33	14	10	12
	Q2	22	22	14	17	18	10	24	18	25	9	8	9

		Parque Nacional Huatulco								
		San Agustín			Chachacual			Órgano		
		Anual	Lluvias	Secas	Anual	Lluvias	Secas	Anual	Lluvias	Secas
Diversidad alpha	Q0	50	31	42	19	9	11	18	9	13
	Q1	26	19	27	15	7	8	14	8	11
	Q2	17	14	19	12	6	6	11	7	10

		Anual	Lluvias	Secas
Diversidad beta	Q0	2.633441	2.863636	3.008264
	Q1	2.146371	1.992828	2.835475
	Q2	2.123722	1.787559	3.221009
Diversidad gamma	Q0	117.00000	81	104
	Q1	48.38967	31.43423	50.55522
	Q2	30.41043	18.88855	34.94002

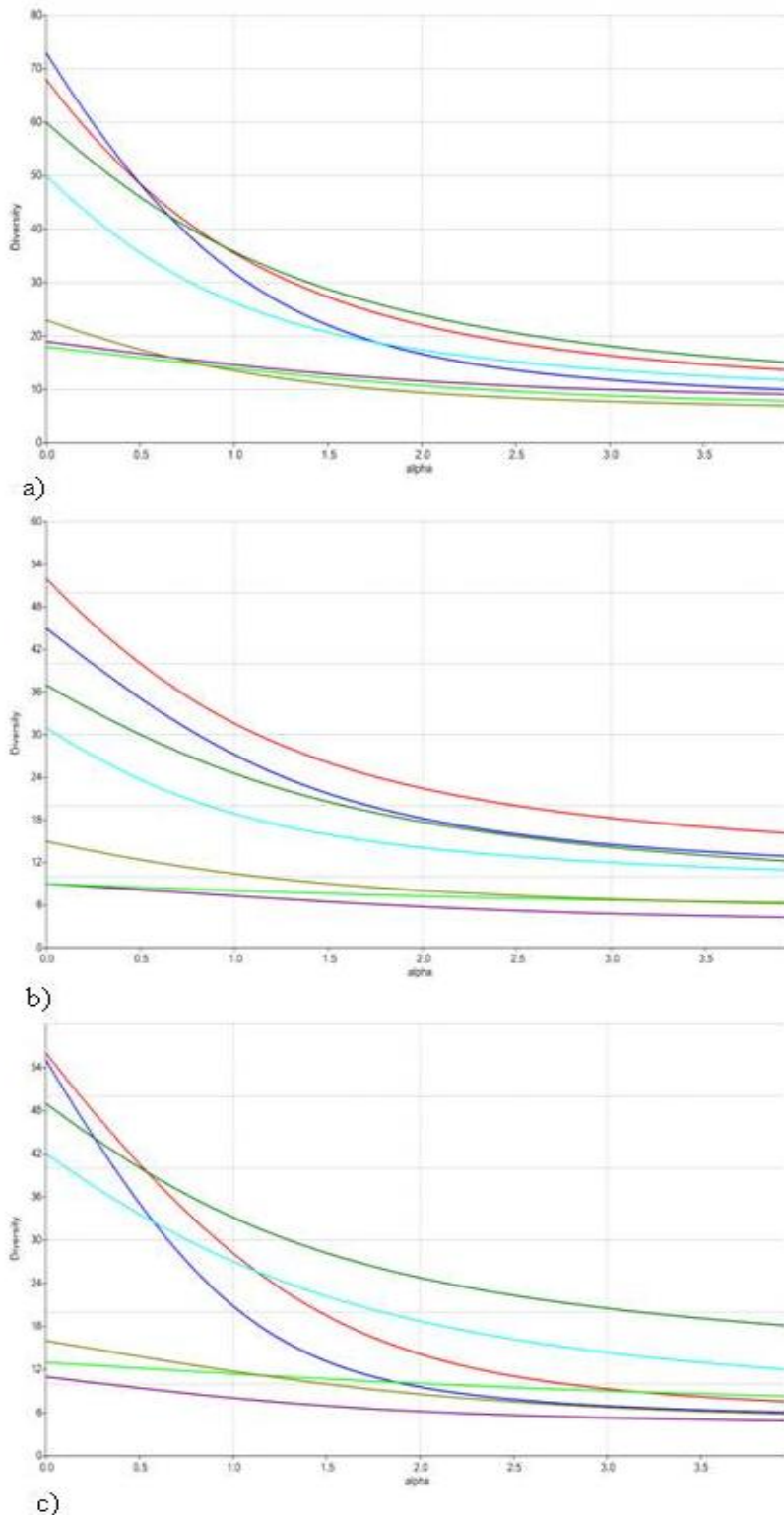


Figura 13. Perfiles de diversidad a) alfa anual b) alfa lluvias c) alfa secas en sus tres órdenes ( $q=1$ ,  $q=2$  y  $q=3$ )  
 Estero Boca Vieja Laguna Salina Estero Mojahual Bahía San Agustín Bahía Chachacual  
 Bahía El Órgano Playa La Entrega

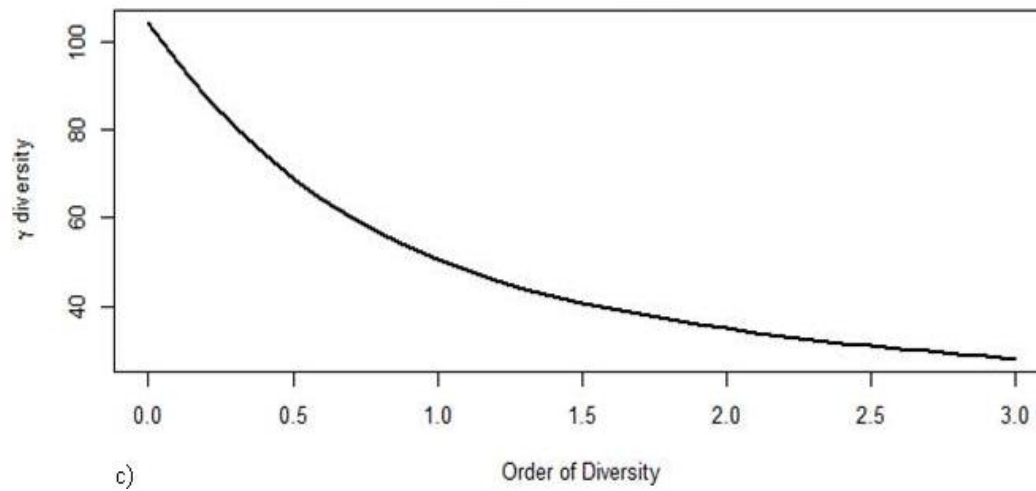
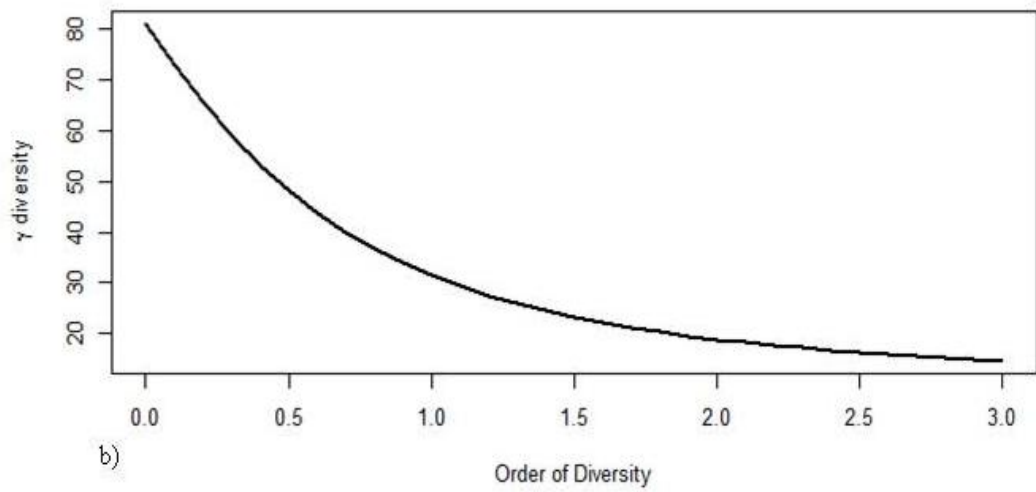
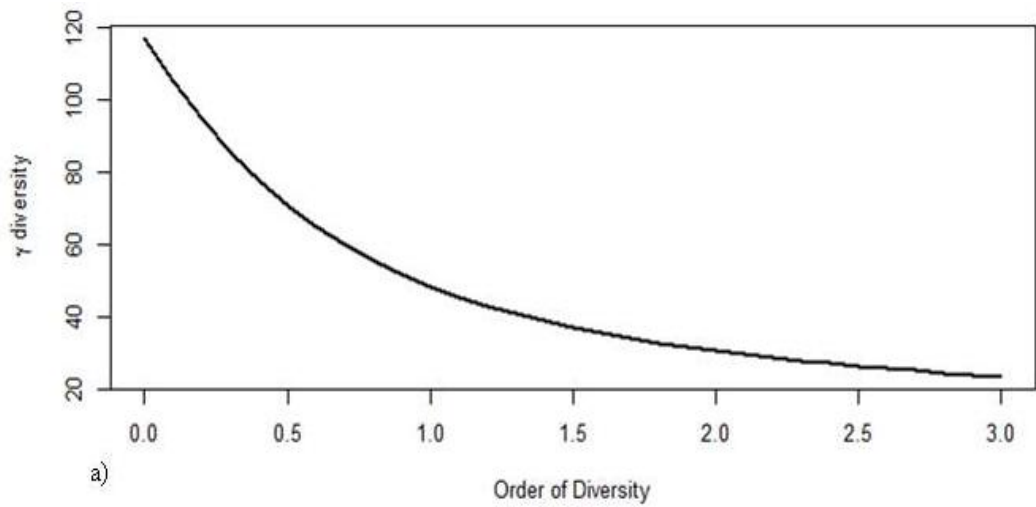


Figura 4 Perfil de diversidad gamma anual b) gamma lluvias c) gamma secas en sus tres órdenes anual en sus tres órdenes ( $q=0$ ,  $q=1$  y  $q=2$ ).