

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Escondido
División de Estudios de Posgrado



Estrategias para el manejo de manglar con fines de conservación de avifauna en la costa de Oaxaca, México

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el
grado de Maestro en Ciencias en Manejo de Fauna
Silvestre

PRESENTA

Biól. Ygor Manuel Ortega Mikolaev

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Cruz Bojorges Baños

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal

Puerto Ángel, Oaxaca, México, Septiembre del 2015

Índice General	I
Índice de tablas	III
Índice de figuras	V
Índice de apéndices	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Salinidad del suelo	3
2.2. Origen y causas de la salinidad en los suelos	5
2.3. Suelos salinos del mundo	7
2.4. Suelos salinos en México	7
2.5. Los manglares como vegetación halófila	8
2.6. Los manglares en México	9
2.7. Salinidad y efectos en la vegetación de manglar	9
2.8. El manglar como importante hábitat para la fauna	10
2.9. Estructura del mangle y efectos de la salinidad sobre la avifauna	11
2.10. Estudios de avifauna en manglares de México	14
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVO GENERAL	18
4.1. Objetivos Particulares	18
5. HIPÓTESIS	18
6. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1. Ubicación del área de estudio	19
6.2. Descripción del área de estudio	20
6.2.1. Suelos	20
6.2.1.1. Caracterización ecohidrológica y acumulación de salinidad en la Laguna	20
6.2.2. Vegetación	23
6.2.3. Avifauna	24
6.3. Muestreo y análisis de sedimentos de suelo	24
6.3.1. Análisis Estadístico	27
6.4. Muestreo y análisis de estructura de manglar	28
6.4.1. Análisis Estadístico	28
6.5. Muestreo y análisis de avifauna	29
6.5.1. Análisis Estadístico y análisis de correlación	30
7. RESULTADOS	31
7.1. Química salina de los sedimentos del suelo	31
7.2. Vegetación	35
7.3. Avifauna	38

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
8.1. Salinidad de los sedimentos del suelo	44
8.2. Vegetación	51
8.3. Avifauna	57
9. INTERPRETACIÓN DE LAS CORRELACIONES CANONICAS	64
10. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN PARA LA AVIFAUNA	66
11. PRÁCTICAS Y ESCENARIOS PARA EL MANEJO DE LA ZONA DE MANGLAR Y SU AVIFAUNA EN LA LAGUNA “LA SALINA” ESCOBILLA, OAXACA	71
12. CONCLUSIONES	80
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81

Índice de tablas	Página
I Procesos de formación de los suelos salinos.	6
II Suelos afectados por las sales en los continentes y en los subcontinentes (miles de ha).	7
III Clasificaciones de plantas en ambientes salinos.	10
IV Gradientes salinos y valores de conductividad eléctrica (CE) determinados para los suelos sedimentarios de la laguna “La Salina”.	27
V Valores de conductividad eléctrica (CE) y de residuo seco calcinado (RSC) para las dos estaciones interanuales de humedad y estiaje.	32
VI Medias de conductividad eléctrica (CE) obtenidos de extractos de saturación del suelo para cada gradiente salino (estación climática de estiaje).	35
VII Medias de conductividad eléctrica (CE) obtenidos de extractos de saturación del suelo para cada gradiente salino (estación climática de humedad).	35
VIII Medias de valores de Área de copa y altura, para cada gradiente identificado (estación climática de Estiaje y humedad).	37
IX Riqueza, abundancia y diversidad (H´) de especies de aves registradas por sitio de muestreo para dos estaciones climáticas.	39
X Riqueza, abundancia y diversidad (H´) de especies de aves registradas en consideración a cada gradiente salino, para las dos estaciones climáticas.	40
XI Coeficientes de Correlación de Pearson significativos entre el índice de diversidad, abundancia, riqueza, altura arbórea, cobertura vegetal y salinidad del suelo, correspondientes a la estación de estiaje.	42
XII Coeficientes de correlación de Pearson significativos entre el índice de diversidad, abundancia, riqueza, cobertura vegetal, altura arbórea y salinidad del suelo, correspondientes a la estación de humedad.	42
XIII Correlaciones canónicas entre las variables avifaónicas y ambientales.	43
XIV Secuencia de acciones programadas (con apoyo institucional o privado) para la restauración hidrológica y reforestación de en la laguna” La Salina”, de la cooperativa Escobilla, Tonameca, Oax.	78
 Tablas adicionales en el apartado Apéndices	
XV Caracterización textural de las muestras de suelo del área de estudio.	103
XVI Correlación canónica entre las variables (AVIFAUNA) y (AMBIENTAL) para la estación de humedad periodo 2012-213.	103

XVII	Coeficientes canónicos estandarizados para la variable canónica AMBIENTAL (salinidad, cobertura, altura) para la estación de humedad periodo 2013.	103
XVIII	Coeficientes canónicos estandarizados para la variable canónica AVIFAUNA (riqueza, abundancia, diversidad) para la estación de humedad periodo 2013.	104
XIX	Correlaciones cruzadas para la estación húmeda entre la variable canónica AMBIENTAL (salinidad, cobertura, altura) y la variable canónica AVIFAUNA (riqueza, abundancia, diversidad).	104
XX	Correlaciones cruzadas para la variable AMBIENTAL. Estación de humedad.	104
XXI	Correlaciones cruzadas para la variable AVIFAUNA. Estación de humedad.	104
XXII	Análisis de redundancia para las variables, correspondiente a la estación de humedad.	104

Índice de Figuras

	Página
1 Estructura fisiológica de un humedal con fuerte influencia en una comunidad de aves. (Tomado de: Weller y Spatcher 1965:1).	13
2 Localización del área de estudio.	19
3 Vista de la Laguna “la Salina”, en un perfil transversal costero con el talud continental en su límite con el agua de mar de concentración salina muy alta.	21
4 Corte transversal de la laguna “La Salina” con sus niveles freaticos establecidos.	21
5 Salinización de suelos costeros de la Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca.	22
6 Corte transversal de la zona costera, durante la época de precipitaciones pluviales. (Nota: C< indica baja concentración de sales).	23
7 Corte transversal de la laguna “La Salina” mostrando condiciones hidrologicas durante la estacion de humedad.	23
8 Localización de los tres gradientes salinos identificados para la estación climática húmeda.	32
9 Localización de los cuatro gradientes salinos identificados para la estación climática de estiaje.	34

Índice de Apéndices	Página
1 Gradientes salinos identificados para la estación de lluvias y estiaje con sus respectivos puntos de muestreo señalados en rojo.	96
2 Especies de aves registradas en la Laguna de Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca, México.	98
3 Los 16 puntos de muestreo donde se recolectaron los sedimentos de suelo, se realizaron las mediciones morfométricas de vegetación y se efectuó el recuento de aves.	101
4 Localización geográfica de los 16 puntos de muestreo.	102
5 Tablas adicionales de resultados.	103
6 Características ecológicas de los gradientes salinos	105

RESUMEN

Con el propósito de determinar la influencia de la estructura de manglar y la concentración de salinidad del sustrato lagunar sobre la diversidad de aves, en un ciclo estacional de humedad y estiaje periodo que corresponde a los años (2012-2013), se registró su riqueza de especies y abundancia, en la vegetación adyacente de la laguna costera “La Salina” ubicada en Escobilla, municipio de Santa María Tonameca, Oaxaca, México. El objetivo del presente estudio fue evaluar la salinidad del suelo de la laguna, su estructura vegetal y la diversidad de aves, para proponer alternativas de manejo y conservación del hábitat salino y sus aves asociadas. Se cubrió una superficie de aproximadamente 22 ha donde se realizaron recorridos en transectos en zigzag para el establecimiento de 16 monolitos edáficos. En cada monolito se determinó salinidad, estructura vegetal y diversidad de aves. Se establecieron patrones y correlaciones de estos parámetros. Se identificaron cuatro gradientes salinos para la estación de estiaje, y tres gradientes salinos para la estación de lluvias, y se encontraron diferencias significativas entre ellos. La riqueza para toda la zona de estudio fue de 60 especies, 48 residentes, 12 migratorias. Del total de especies, 22 son comunes, 8 no comunes, 30 raras y 3 endémicas. Los resultados sugieren que existen correlaciones significativas de la riqueza y abundancia entre estos gradientes. El análisis de correlación canónica indica que, tanto la riqueza como la diversidad de especies de aves fueron influenciadas por la cobertura y altura vegetal.

Palabras clave: aves, humedales, restauración, salinidad, vegetación.

ABSTRACT

In order to determine the influence of the structure of mangrove and lagoon salinity concentration of substrate on the bird species diversity in a cycle of wet and dry seasons corresponding to the years (2012-2013), its species richness and abundance in adjacent vegetation of the coastal lagoon "La Salina", located in municipality of Santa Maria Tonameca, Oaxaca, Mexico, was recorded. The aim of this study was to evaluate soil salinity of the lagoon, its vegetation structure and bird species diversity, to propose alternative management and conservation of saline habitats and associated birds. An area of approximately 22 ha was covered. In the study area 16 soil monoliths were established. In each monolith, salinity, vegetation structure and birds species diversity was determined. Patterns and correlations of these parameters were established. Four salt gradients for the dry season, and three salt gradients for the rainy season were identified, and significant differences were found between them. The species richness of the entire study area was 60 species, 48 residents, 12 migratory. Of all the species, 22 are common, 8 uncommon, 30 rare and 3 are considered endemic. The results suggest that there are significant correlations of richness and abundance between these gradients. The canonical correlation analysis indicates that both the richness and birds species diversity were influenced by coverage and plant height.

Keywords: birds, vegetation, restoration, salinity, wetlands.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Mar por haberme permitido realizar mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados por las facilidades brindadas durante la realización de esta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para realizar este estudio de Maestría.

Al Dr. José Cruz Bojorges Baños por la guía y dirección prestada para la realización de esta investigación, sus exhaustivas revisiones y recomendaciones pero sobre todo la paciencia y atención prestadas para el desarrollo final de esta tesis.

Al Dr. Edgar Iván Sánchez Bernal por su guía, dirección, sus recomendaciones y el interés mostrado en el desarrollo de esta investigación y sobre todo por la paciencia y tiempo brindados para el término final de este trabajo.

A los profesores-investigadores Dr. Marco Antonio Camacho Escobar; Dr. Carlos García Estrada; M.C. Jesús Grajales García, por sus apreciables y atinadas revisiones como sus recomendaciones para la mejora substancial de este trabajo.

A los profesores de la maestría de manejo de fauna silvestre por habernos compartido sus conocimientos durante el ciclo de estudios.

A José Espitia Hernández Jefe de la Biblioteca y al M.C. Juan Carlos García Villeda por el apoyo bibliográfico otorgado para la realización de este trabajo.

A la Sociedad Cooperativa el Santuario de las Tortugas de Escobilla S.C. de R.L. de Santa María Tonameca, Oaxaca, por el apoyo brindado para la realización de los muestreos y trabajo de campo.

DEDICATORIA

A mis padres con todo respeto:

Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar

Mtra. Nadhiezza Yakloblevna Mikolaeva de Ortega

Por su apoyo, colaboración, por mantener la confianza firme en mí y por todo el cariño que me han brindado.

A mi hermana Oksana Ortega Mikolaeva por su apoyo y palabras de aliento durante mis estudios de maestría.

A mí novia y compañera Karina Madrid Espinosa por confiar en mí todo momento, por su confianza y apoyo brindado.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la ecología es comprender los mecanismos causales que determinan la estructura y función de las comunidades biológicas, en relación con los hábitats que ocupan y su distribución, ya que este entendimiento es clave para planteamientos de conservación y manejo de fauna silvestre (Magurran 2004, Bojorges & López-Mata 2006, Bojorges 2011).

Los patrones de distribución de las especies guardan una estrecha relación con el hábitat que ocupan; por ejemplo para las aves, la estructura de la vegetación y la composición florística determinan la distribución y abundancia de su alimento y la disponibilidad de sitios para su refugio y reproducción. De esta forma, las características del hábitat influyen de manera importante en la dinámica de las comunidades y dan indicios del patrón del uso del hábitat (Díaz & Armesto 2003, Cueto 2006).

Actualmente se realizan esfuerzos para la conservación de hábitats específicos, especialmente de aquellos vulnerables a las amenazas antropogénicas, como el ecosistema manglar. Esto es relevante porque son ecológicamente muy productivos y se reconoce que un efectivo manejo provee alternativas de uso de hábitat para la biodiversidad que alberga (Soule 1986, Ramamoorthy 1998, Hsing *et al.* 2003, Zhijun *et al.* 2010).

A través del estudio de la estructura del manglar, de sus factores abióticos y de las condiciones de sus poblaciones biológicas, se determina la forma de cómo los organismos utilizan este hábitat. Así, cambios en la estructura vegetal (altura de vegetación, cobertura) y otros factores ambientales, como la salinidad, tendrán efectos en la permanencia y distribución de la fauna (Schimtz *et al.* 1999, Camacho 2007).

Strogonov (1964), Poljakoff-Mayber (1975), Cintrón *et al.* (1978), Soto & Jiménez (1982), han informado de plantas enanas y manglares de baja complejidad estructural en sitios áridos y suelos con salinidades altas; estos a su vez, inducen

cambios en la morfología y fisiología vegetal. En este sentido, la altura de las plantas está en función tanto de la concentración de sales en el sustrato, como la disponibilidad de nutrientes y del contenido de humedad del agua en el suelo. Así, la biomasa y el contenido de humedad en las hojas disminuyen al aumentar la salinidad del suelo.

Para el caso de la avifauna, el clima local, las precipitaciones, la salinidad, la frecuencia y la duración de las inundaciones con respecto a la distancia del mar, son los factores abióticos que influyen en su distribución y determinan la búsqueda de recursos alimenticios en manglares (Camacho 2007). La salinidad reviste especial atención, ya que se considera como restrictiva para el crecimiento de los mismos, al conferir junto con las precipitaciones, cambios en su estructura vegetal (Schimtz *et al.* 1999, Moreno & Álvarez 2003, Camacho 2007, Sánchez-Bernal *et al.* 2012-b). En este sentido, los factores abióticos tienen influencia sobre el desarrollo del manglar y este a su vez, sobre la riqueza de especies de aves. Las características del hábitat a nivel de paisaje, pueden definir el patrón de diversidad (riqueza de especies y su abundancia) ya que limita o favorece la presencia de determinadas poblaciones de aves, las cuales se relacionan con la disponibilidad de recursos, ajustándose a las características del hábitat disponible (Carbonell & Tellería 1998; Zarate-Obando *et al.* 2007).

De esta información se desprende que un importante obstáculo para un efectivo manejo y conservación de los manglares y su biodiversidad asociada, es la falta de conocimientos de cómo los factores ambientales influyen en las comunidades biológicas (Hsing *et al.* 2003). En México, el manejo y conservación de los manglares han sido poco estudiados a pesar de que son afectados por la tala inmoderada para abrir paso a actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y turísticas; lo cual ha situado a varias especies de mangle con alguna categoría de riesgo.

En Oaxaca se encuentran poblaciones de mangle de cuatro especies: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle negro

(*Avicennia germinans*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*); establecidos en desembocaduras de corrientes de agua dulce de la costa, cercanas a lagunas, esteros, playas, bocabarras y ríos. Cuyas comunidades se encuentran vulneradas por actividades agropecuarias y de desarrollo inmobiliario, principalmente (Restrepo 2010, CONABIO 2012).

Al considerar las variables abióticas que influyen en este hábitat para delimitar las áreas preferidas por especies residentes y migratorias de aves, se pueden comprender patrones ecológicos y con ello obtener información que apoye la conservación y manejo de la fauna (Schimtz *et al.* 1999, Moreno & Álvarez 2003, Bojorges & López-Mata 2006, Camacho 2007, Bojorges 2011).

La presente investigación tiene como propósito determinar la influencia de los diferentes gradientes salinos del suelo sobre la estructura vegetal del manglar, y su influencia en la distribución de la avifauna en el sistema lagunar “La Salina” de Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca. Información generada a lo largo de un periodo estacional humedad–estiaje correspondiente a los años 2012-2013, se utilizó para correlacionar con datos de riqueza y abundancia de especies de aves, a fin de reconocer patrones de incidencia de factores ambientales (salinidad y vegetación), sobre la diversidad de aves a escala local o diversidad alfa.

2. ANTECEDENTES

2.1. Salinidad del suelo

El suelo es un sistema dinámico, trifásico y heterogéneo, constituido por material mineral y orgánico, que conforma la capa no consolidada de la superficie de la corteza terrestre en el cual se desarrolla la vida (FitzPatrick 1984). El *continuum* suelo es originado por procesos intempéricos físico-químicos y biológicos que resultan de la interacción de los factores material parental, clima, topografía, organismos y tiempo geológico (López 1993).

El suelo es un recurso natural que proporciona múltiples servicios ambientales (regularidad de los ciclos biogeoquímicos, almacenamiento, transferencia de

nutrientes y agua); lo cual permite el establecimiento de biodiversidad y su permanencia. La producción de biomasa, formación y conservación del suelo, proporcionan estabilidad climática, establecimiento de poblaciones bióticas, así como belleza escénica del paisaje (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-b). El hombre mismo basa su desarrollo productivo y tecnógeno en el aprovechamiento del suelo, a tal grado que su indebido manejo se considera la principal causa de perturbación y degradación sobre el recurso edáfico (Palacios & Gama 1994).

La degradación del suelo tiene su origen en dos factores sinérgicos, el primero lo constituyen los fenómenos geológicos (intemperismo, terremotos, inundaciones, sequías, huracanes, etcétera); el segundo se atribuye a las actividades agroproductivas y tecnógenas que no consideran la capacidad de carga y regeneración de los suelos intrínsecamente frágiles (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a). En el primer caso se pueden citar los procesos de erosión natural y la salinización primaria de los suelos por ciclos de acumulación de sales continentales, marítimas, deltáicos y artesianos. En el segundo caso, se tiene la hidroerosión y la afectación de los suelos por procesos de salinización secundaria, a causa de los errores cometidos por el hombre en su actividad productiva (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a).

Entre los procesos adversos, que figuran en la degradación y deterioro de los suelos del planeta, está la salinización secundaria precursora de desertificación. La ocurrencia de este fenómeno se debe a la acumulación de sales solubles en cuerpos de agua superficiales y subterráneas, así como en la solución del suelo, en aquellas regiones donde la evaporación excede a la precipitación pluvial y tiene como causas el riego con aguas de excesiva concentración salina, la sobre extracción de aguas subterráneas, el sobrepastoreo, la deforestación y el riego con aguas residuales urbano industriales (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a). Según Strogonov (1964) y Kovda (1977), los suelos salinos afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a que les producen estrés hídrico, tóxico y alteración nutrimental, lo que conlleva una reducción de los espacios de distribución de las especies vegetales. La intensidad del efecto salino, está en

función de la concentración, pero también del predominio de unas especies químicas sobre otras, lo que origina el desarrollo de suelos con diferentes condiciones físico-químicas a los que se adaptan diversas especies vegetales.

2.2. Origen y causas de la salinidad en los suelos

Las sales en las zonas continentales se derivan de los eventos geomorfológicos ocurridos a lo largo de la evolución del planeta, tales como las transgresiones marinas, los fenómenos volcánicos, el intemperismo físico (hídrico y eólico) y químico a través de la hidrólisis, la disolución, la carbonatación y las reacciones de óxido reducción (Sánchez-Bernal 2003). Todos estos eventos favorecen la síntesis de minerales de arcilla, y la formación de compuestos salinos debido a la extracción de iones base (Ca, Mg, Na, K, y otros cationes metálicos) que interaccionan con los grupos carbonato, bicarbonato, cloruros, sulfato, humato y aluminato de los metales alcalinos. La geoquímica de cada ion determinará la migración y acumulación de los minerales sales en los suelos. Por lo anterior se considera que la intemperización de los minerales primarios es la fuente natural de la salinización primaria (Sánchez-Bernal 2003). En la formación y acumulación de sales se presentan cinco ciclos geomorfológicos, señalados por Kovda (1977), a saber:

2.2.1. Ciclos Continentales

Se refieren al movimiento, redistribución y acumulación de sales de los grupos cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos sódico en cuencas endorreicas sin escurrimiento (Kovda 1977).

2.2.1.1. Ciclos Marítimos

Se presentan en las costas, bahías y marismas, donde la acumulación de sales marinas, principalmente el cloruro de sodio es de común ocurrencia. La intrusión marina puede invadir las aguas freáticas por diferencias de presión originando su salinización (Kovda 1977).

2.2.1.2. Ciclos Deltaicos

Los deltas de los ríos son áreas de abundante agua y son óptimos para la agricultura de regadío, pero las deficientes técnicas de riego y drenaje han provocado la salinización de los deltas (Kovda 1977).

2.2.1.3. Ciclos Artesianos

Estos son producto del surgimiento de aguas freáticas profundas, que ascienden a través de microfallas y fracturas profundas dando origen a procesos de salinización (Kovda 1977).

2.2.1.4. Ciclos Antropogénicos

Se deben a los errores cometidos por el hombre debido a ineficientes técnicas de uso y manejo de aguas de riego y de suelos, como son: el riego con aguas de excesiva concentración salina, aplicación de agroquímicos, deforestación por cambios de uso del suelo, sobrepastoreo y la irrigación con aguas residuales urbano-industriales (Kovda (1977). La Tabla I muestra los procesos más importantes de formación de los suelos salinos (Alcaraz *et al.* 1999).

Tabla I. Procesos de formación de los suelos salinos

Proceso	Características
Salinización	Acumulación de sales en el suelo a concentraciones $> 2.56 \text{ g L}^{-1}$ o una Conductividad Eléctrica (CE) de 4.0 dS m^{-1} , Potencial de Hidrogeno (pH) de 7.5 a 8.5 y Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) $<15\%$
Alcalinización	Acumulación de sales en lo fundamental de Na_2CO_3 o NaHCO_3 a concentraciones superiores a 40 g L^{-1} ; PH >9 y PSI $> 15\%$.
Solodización	Por lavado el sodio de cambio es arrastrado y sustituido por H y Al, disminuye el pH, ilimerización de arcillas y pérdida de la estructura.
Sulfato – Reductor	Zonas costeras con fangos marinos, (polders y manglares) con capa de agua salada poco profunda reductora.

Fuente: Alcaraz *et al.* (1999).

2.3. Suelos salinos en el mundo

Los suelos afectados por sales están presentes en todos los continentes, principalmente en zonas áridas y semiáridas, pero también en zonas subhúmedas (Szabolcs 1994). Se tienen registros de que al menos 10% de la superficie total de la tierra, presenta problemas de salinización, en lo fundamental por indebidas prácticas de riego (Szabolcs 1994). Los suelos en éstas condiciones se vuelven improductivos, lo que origina pobreza de comunidades rurales, migración y apertura de nuevas áreas con riesgo latente de ser salinizadas, lo que constituye un fenómeno adverso y problemático para los países que padecen esta degradación edáfica (Szabolcs 1994). El citado autor indica que los suelos salinos en el planeta ocupan una superficie mundial de 954,834,000 ha de las cuales 396,135,000 son suelos salinos propiamente dichos y 558,970,000 son suelos sódicos (Tabla II). De esta superficie una gran cantidad de suelos afectados por sales se tienen en las costas (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a).

Tabla II. Suelos afectados por Sales en los continentes y en los subcontinentes (miles de ha).

Región continental	Ha
América del Norte	15 755 000
México y Centroamérica	1 965 000
América del Sur	129163 000
África	80 538 000
Asia del Sur	87 608 000
Asia central y del Norte	211 688 000
Asia del Sureste	19 983 000
Australasia	357 330 000
Europa	50 804 000
Total	954 834 000

Fuente: Alcaraz *et al.* (1999)

2.4. Los suelos salinos en México

En territorio mexicano, los suelos salinos se distribuyen ampliamente en valles cercanos a las costas y estuarios ribereños de zonas áridas y semiáridas utilizados para riego. Por tanto, esto afecta nuevas áreas para irrigación, al ser convertidas en áreas salinizadas (Aceves 1979). Como consecuencia, la superficie

irrigada afectada por sales, es de aproximadamente 650,000 ha (Ruiz *et al.* 2007), lo que ha provocado la degradación del recurso suelo y la subsecuente disminución de la oferta agropecuaria de alimentos. Por tal razón, es importante predecir el comportamiento del proceso de salinización para establecer esquemas de entendimiento de las leyes que rigen la acumulación de sales en los suelos (Sánchez-Bernal *et al.* 2013).

En el caso particular de la costa Oaxaqueña, las sales se acumulan por procesos naturales de intrusión marina, como consecuencia, el suelo presenta un tipo génesis salina y/o salino sódica. Para Sánchez-Bernal *et al.* (2012-a), las especies químicas que determinan el tipo de salinidad en la planicie costera de Oaxaca se deben a la presencia del sistema salino NaCl-MgCl₂, por lo que se trata de una salinidad clorhídrica, la cual es intensificada por deficientes técnicas de irrigación, pobre drenaje natural, la poca profundidad de las aguas subterráneas y la irrigación con aguas moderadamente salinas, lo que ha producido un proceso gradual de acumulación de sales en los horizontes superiores del suelo. El efecto salino es más intenso en áreas donde la conductividad eléctrica del extracto de saturación es mayor a 6.0 dS m⁻¹ y, un porcentaje de sodio intercambiable mayor a 20% que limita el crecimiento y desarrollo vegetal. Sin embargo, la principal limitante en la zona costera de Oaxaca, es la indisponibilidad de adecuados volúmenes de agua en estiaje. Esto se debe tanto a la variación climática que ha provocado un menor volumen de agua de lluvia que ingresa al suelo y a los acuíferos, como también a la extracción excesiva de los cuerpos de aguas subterráneas que se destinan a distintos usos y que impiden la recuperación de dichos acuíferos en periodos de recarga (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a).

2.5. Los manglares como vegetación halófila

Los manglares son asociaciones vegetales que presentan adaptaciones específicas para su establecimiento exitoso en ambientes de altas concentraciones salinas, estos son biotopos tropicales y subtropicales conformados por árboles halófitos que crecen, desarrollan y se reproducen en zonas intermareales de golfos, ensenadas, estuarios ribereños y planicies

aluviales costeras inundadas en periodos interanuales por agua dulce de escorrentía superficial, lo que conforma sustratos sedimentarios anaerobios y salinizados por el agua de mar. Su geo-distribución comprende desde el ecuador hasta 25° de latitud norte y sur, ocupando a nivel mundial una cuarta parte de las costas tropicales (Pollak & Waisel 1970). Esta vegetación es reconocida por presentar adaptaciones especiales que les permiten tolerar la falta de oxígeno, altos niveles de salinidad y distintos patrones de inundación. Tales adaptaciones le permiten colonizar suelos reducidos, inundados y salinizados sujetos a cambios geomorfológicos (Pollak & Waisel 1970, Poljakoff & Lerner 1994, Soto & Corrales 1987).

2.6. Los manglares en México

En la América tropical los manglares cubren cerca de 4,000,000 ha y en México se cuenta con 700,000 ha de este bioma, que se distribuye en el litoral Atlántico desde la Laguna Madre en Tamaulipas hasta Bahía de Chetumal en el Caribe mexicano, y en el Pacífico desde Ensenada, Baja California hasta Chiapas (Poljakoff y Lerner 1994). En México se han identificado cuatro especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) y mangle negro (*Avicennia germinans*), las cuales forman parte de los ecosistemas de manglar del litoral oaxaqueño. En la Laguna Escobilla, municipio de Santa María Tonameca, se presentan asociaciones de *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* con predominancia de esta última (Pollak & Waisel 1970, Poljakoff & Lerner 1994).

2.7. Salinidad y efectos en la vegetación de manglar

En el ámbito biosalino, las cuatro especies de mangle en México tienen diferente tolerancia a la salinidad, lo que origina zonas de sucesión o colonización vegetal. En una secuencia halomórfica *Rhizophora mangle* es la especie que crece en sustratos próximos al mar, tolera de 0 a 45 g L⁻¹, por lo que se clasifica como halófito facultativa o mesohalófito; esta especie se arraiga en suelos blandos con

mayor periodo de inundación y flujo de marea, estabilizando el sustrato. Lo anterior permite la colonización de *Laguncularia racemosa* que tolera una salinidad de 0 a 45 g L⁻¹ con una frecuencia de inundación menor a la del mangle rojo, además se establece en sustrato más firme. Enseguida, en suelos más salinos se establece *Avicennia germinans* que tolera hasta 70 g L⁻¹ de concentración; para ello ha transformado su estructura fisionómica formando arbustos o matorrales que crecen en suelos más estables y menos inundados, por tanto se le considera una euhalofita (halófito muy tolerante a sales). Finalmente, el mangle que se establece en tierra firme propiamente dicha es el denominado Botoncillo (*Conocarpus erectus*) que tolera hasta 30 g L⁻¹ de concentración salina y cohabita con halófitas terrestres (Hopkins 1995, Soto & Jiménez 1982).

La salinidad en los sedimentos de los manglares depende del tipo de hidrología que prevalece en las orillas costeras, donde reciben constantemente corrientes marinas y son influenciados por cuerpos de agua salobres. Esta, presenta una variación interanual, debido a la altura, amplitud de marea, precipitación pluvial, variaciones estacionales en el volumen de agua que proviene de escurrimientos superiores y evaporación, todo lo anterior, determina las concentraciones salinas que se presentan (Mitsch & Grosselink 2000, Golley *et al.* 1962). En la Tabla III se expone la clasificación de las halófitas de acuerdo a su tolerancia a sales.

Tabla III. Clasificaciones de plantas en ambientes salinos

Denominación	Características	Ejemplos
Ehualofitos	Acumulación de sales en tejidos	<i>Salicornia sp.</i> <i>Sarcocornia sp.</i>
Crinohalofitos	Glándulas o pelos excretores	<i>Limonium sp.</i> , <i>Tamarix sp.</i>
Clicohalofitos	Absorción selectiva de sales	<i>Hordeum sp.</i> , <i>Rizophora sp.</i>
Locahalofitos	Confinan la sal a estructuras especiales	<i>Atriplexalimus sp.</i>

Fuente: Alcaraz *et al.* (1999).

2.8. El manglar como importante hábitat para la fauna

Diversos investigadores como Tomilson (1986), han enfatizado los beneficios ambientales, económicos y socio culturales del manglar, pues es un ecosistema

altamente productivo y biodiverso con una compleja red trófica. Este biotopo es un recurso fundamental en la pesca litoral de la plataforma continental, 70% de los organismos capturados en el mar realizan su ciclo de vida en zona de manglar o costera; además son refugio y sitio de anidación de aves migratorias. Por otra parte, los bosques de mangle realizan importantes beneficios ambientales que contribuyen a atenuar los efectos del calentamiento global antrópico, ya que se encargan de fijar CO₂ y de oxidar y reducir el óxido nitroso a óxido nítrico y nitrógeno elemental, por lo que reducen la concentración de gases de efecto invernadero. Además, sus sistemas de raíces fúlcreas filtran las aguas de escorrentía cargadas con detritos orgánicos que ingresan al mar y retienen contaminantes orgánicos y metales pesados tóxicos (Tomilson 1986, Restrepo 2010).

2.9. Estructura del mangle y efectos de la salinidad sobre la avifauna

Se ha mencionado que los factores abióticos determinan la distribución y temporalidad de la fauna, en particular la clase aves es altamente sensible al estrés ambiental (Athearn *et al.* 2012). El efecto de tales factores puede estudiarse con relativa facilidad en sistemas con baja riqueza de especies vegetales, como los manglares, donde es común encontrar bandas de vegetación con mosaicos que no son continuos en su distribución. Los perfiles de los manglares están sujetos a la topografía local (la cual determina los patrones de escorrentía), a la composición, estabilidad del sedimento y a las características edafológicas. De tal modo que la vegetación de manglares está asociada a ciertas características abióticas particulares, que influyen en la presencia y distribución de la fauna y su establecimiento (Rico & Palacios 1996).

Se sabe que los patrones de zonación de los humedales, son influenciados por gradientes de salinidad en el suelo y agua, y esto influye en la composición de las comunidades faunísticas (Sodhi & Smith 2007). En efecto, estudios que relacionan la estructura de las comunidades de mangle, con factores como los edáficos y climáticos; establecerán antecedentes para entender cómo son aprovechados los recursos por parte de la avifauna en un sitio particular (Soto & Jiménez 1982). Así,

las características de salinidad y topografía en humedales, la conectividad dentro de ellos y el clima; provocan diferentes respuestas en la presencia-ausencia de ciertas especies de aves (Sodhi & Smith 2007, Sebastián *et al.* 2010, Athearn *et al.* 2012).

De la información anterior se deriva la importancia de conocer cómo estos procesos edáficos afectan la estructura del manglar y a su vez, afectan a la biodiversidad asociada, en particular a la avifauna. En Europa por ejemplo; los trabajos realizados en la materia han reconocido la importancia de las costas y humedales para las comunidades de aves silvestres, aunque pocos estudios se han enfocado en la distribución de la avifauna en relación a gradientes salinos. Los trabajos realizados por Ysebaert *et al.* (2000), consideraron áreas polihalinas (18‰) y mesohalinas (5‰) así como cuerpos de agua dulce, concluyeron que el factor más importante en la distribución de la avifauna en un gradiente salino es la diversidad de hábitats; así mismo, documentaron que las áreas polihalinas fueron menos apropiadas en oferta alimenticia que las áreas mesohalinas. Otros investigadores consideran que la salinidad tiene influencia sobre las áreas disponibles para descanso, refugio y percha de la avifauna. Las áreas polihalinas fueron numéricamente dominadas por aves playeras, en cambio la presencia de marismas salobres en zonas mesohalinas, induce la presencia de especies herbívoras, como aves de la familia Anatidae. En el área oligohalina, junto a las mareas de agua dulce, la comunidad de aves fue dominada también por especies de la familia Anatidae. Miembros de la familia Ardeidae prefieren áreas con salinidades bajas, mientras que los miembros de la familia Podicipedidae, prefieren sitios con salinidades altas e influenciadas por mareas (Blanco 1998, Ysebaert *et al.* 2000, Hernández 2005). En la Figura 1, se muestra una representación esquemática sobre cómo influyen los gradientes del régimen hidrológico y salino sobre la vegetación de un humedal, y por tanto, como esto está asociado o influye sobre la naturaleza de una comunidad de aves silvestres.

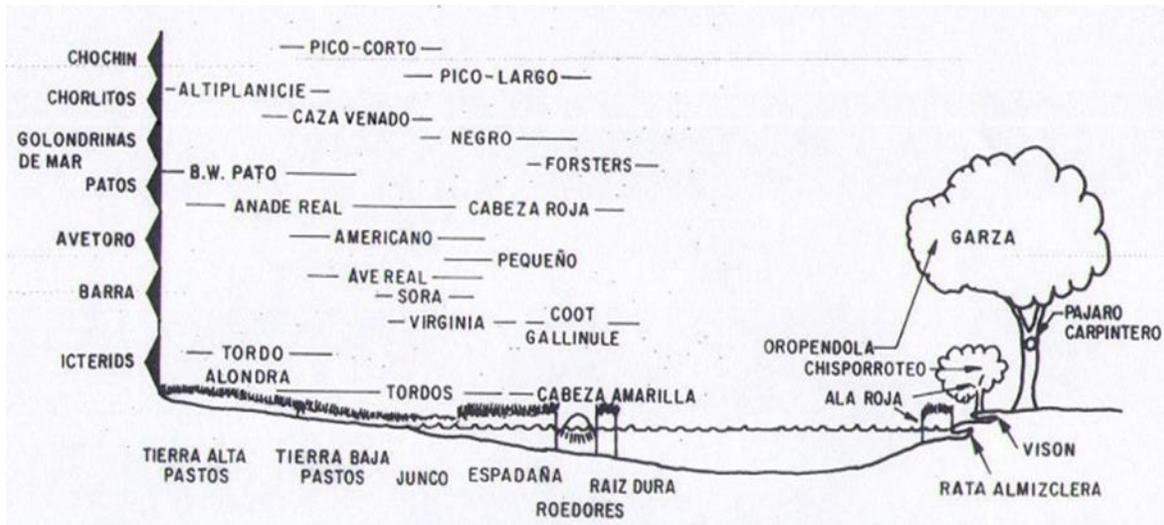


Figura 1. Estructura fisiológica de un humedal con fuerte influencia en una comunidad de aves. (Tomado de: Weller y Spatcher 1965:1).

Takekawa *et al.* (2009) reconocieron que las diferencias en gradientes de salinidad, concentración de sales en cuerpos de agua, así como la demanda bioquímica de oxígeno y temperatura, tienen efectos en las comunidades de invertebrados acuáticos, en este sentido, la abundancia y riqueza de estas especies, así como su biomasa, es condicionada por las fluctuaciones de estos factores abióticos. La menor disponibilidad de estos organismos sugiere por qué las dietas de diferentes especies de aves se ven influidas de forma negativa (Takekawa *et al.* 2006, 2009).

Un estudio hecho en humedales del Amazonas, confirmó que la composición florística de dos sitios de bosque que eran diferentes en sus características edafológicas pero relacionadas taxonómicamente en sus características vegetales, presentaron diferencias en la composición de las especies de aves, independientemente de la distancia geográfica entre los sitios (Pomara *et al.* 2012). Los resultados mostraron que, por lo menos 10% de las especies de aves se asociaron significativamente con uno de los dos tipos de bosque. Así, de manera adicional, factores como la composición de especies arbóreas, número de árboles por unidad de área, cobertura del dosel, estructuras específicas como

árboles secos, perfil y volumen del follaje, tendrán efectos sobre la avifauna (Amancio-Rosas 2007, Pomara *et al.* 2012, Naranjo 1997).

Otro estudio en un manglar colombiano, relaciona la densidad de aves con la heterogeneidad vegetal, calidad del agua, salinidad y cobertura, concluyeron que estas variables influyen en la diversidad de especies de aves, debido a que se observó que tienen mayor densidad de individuos en el incremento de la heterogeneidad del paisaje y cobertura vegetal (Chavez-Fonnegra *et al.* 2005). En el caso de los manglares de Brasil se encontró que las actividades antropogénicas en sitios colindantes al manglar influyen en la riqueza y diversidad de avifauna, al depender del cambio en la fisonomía de la vegetación dentro de sus hábitats (Macedo *et al.* 2007).

2.10. Estudios de avifauna en manglares de México

Mellink *et al.* (1998) han trabajado en el estado de Oaxaca en lagunas costeras, playas y el océano, concluyeron que las comunidades avifaunísticas observadas son distintas entre sí, debido a la relación entre especies de aves y la estructura de su hábitat el cual, se ve influido por cambios en las variables ambientales. Los autores mencionan que los humedales de la región incluyen sitios con muy diferentes características y su avifauna varía en función de las mismas. La variación en hábitat y avifauna, hacen de estos humedales sitios apropiados para evaluar hipótesis sobre la estructura de comunidades de aves.

Becerril-Morales (1999), hizo registros de la riqueza de especies de aves en manglares de Chacahua, Pastoría, Corralero–Alotengo y La Ventanilla, en Oaxaca. Sus resultados muestran que la mayor riqueza de especies del manglar “La Ventanilla”, en comparación con los otros dos humedales, es explicada por una predominancia de especies terrestres, las cuales representaron 55.7% de la comunidad. El estudio evidencia lo importante de las características ambientales de cada área y los factores abióticos que pueden estar condicionando en mayor o menor medida la riqueza de especies de aves, como los regímenes de inundación,

estructura vegetal, composición de especies florísticas y la existencia de áreas terrestres fuera de inundación.

Castillo y Carmona (2001) reconocieron la influencia de las características ambientales de un embalse dulceacuícola artificial de Baja California Sur, sobre la distribución de ciertas especies de aves acuáticas y rapaces, especialmente pertenecientes a la familia Anatidae. Las áreas del embalse que presentaron las secciones más profundas en los cuerpos de agua y heterogeneidad en sus hábitats, registraron el mayor número de especies e individuos. Este sitio registro especies que usualmente viven en fuentes de agua dulce y áreas costeras, lo cual contribuyó a la obtención alta de riqueza de especies.

Estudios de avifauna acuática efectuados en la línea de costa de Nayarit, obtuvieron registros de 40 especies para la Laguna “El Quelele” y 54 especies para la desembocadura del Rio Ameca entre Nayarit y Jalisco (Martínez-Martínez y Cupul-Magaña 2002). Análisis más detallados realizados por Mellink y de la Riva (2005), registraron 57 especies de aves acuáticas en la Laguna de Cuyutlán, Colima, estos autores señalan que la respuesta ecológica de la avifauna a la diversidad de hábitats que existe dentro de estas lagunas costeras es evidente, debido a que se comprueba la alta riqueza de especies y abundancias de estas con manglares en buen estado de conservación y heterogeneidad del paisaje.

Navarro *et al.* (2004) obtuvieron importantes registros de especies consideradas como migratorias intratropicales en la zona La Mancha, Veracruz; que dependen de diferentes tipos de hábitats (manglares, dunas costeras, selvas bajas y medianas caducifolias), en creciente aumento de fragmentación por actividades ganaderas. Muestra lo importante que es generar información sobre la calidad y potencial ecológico de estos ambientes en relación con la avifauna, para conservación de biodiversidad.

Amador *et al.* (2006) compararon la abundancia, riqueza y equidad de especies de aves registradas en bosque de mangle y áreas abiertas en la laguna costera el Rancho Bueno, Baja California, registrando 56 especies. Destacan la importancia

de la equidad de las especies de aves, la cual es mayor en los bosques de mangle que en las áreas abiertas. El análisis espacial realizado, mostró evidencias de patrones de diversidad como mayor riqueza de especies y abundancia y una menor equidad en los hábitats de áreas descubiertas, que posiblemente se deba a la presencia de aves que poseen hábitos alimenticios oportunistas. Los valores bajos de equidad pueden atribuirse a la abundancia y distribución de estas especies en particular. La comunidad de aves varió en su composición y abundancia, por lo que se considera una comunidad dinámica; influenciada por factores ambientales como la disponibilidad y tipos de alimento, lo cual, ofrece oportunidades a especies de aves de diferentes tallas y nichos ecológicos, que influye en los índices ecológicos entre meses y hábitats de manglar y áreas abiertas.

El trabajo de Ruiz (2011) consideró los factores ambientales y sus efectos en la avifauna de estos biotopos; su estudio consideró dos rodales de *Avicennia germinans* con composición florística similar, condiciones abióticas distintas y comunidades avifaunísticas propias. Su trabajo concluyó que las respuestas bióticas, como son la fenología de la vegetación y la composición de invertebrados, fueron factores parciales en determinar las diferencias observadas en la avifauna, cada rodal presentó comunidades avifaunísticas propias.

Por último, cabe señalar que se tienen estudios de composición de especies en el estado de Oaxaca, y a este respecto se pueden rescatar los trabajos de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2009) y los inventarios realizados en manglar por Meléndez & Binnquist (1997), Becerril-Morales (1999), Bojorges (2011), Navarro *et al.* (2004), Ambrosio (2011) & Ruiz (2011). Existen trabajos sobre la riqueza y diversidad avifaunística mediante capturas y conteos en las Lagunas de Chacahua, Manialtepec y Ventanilla. Estos, registraron 17 ordenes, 39 familias y 94 especies: 69 residentes y 25 migratorias (Bojorges 2011). En el Parque Nacional Lagunas de Chacahua se han registrado más especies de palomas que en Manialtepec y La Ventanilla debido a sus hábitos terrestres, siendo su presencia menor en zonas inundadas. De igual manera, el

chipe charquero (*Parkesia noveboracensis*) prefiere sitios pocos inundados y fue más abundante en Chacahua y Manialtepec. Así mismo, únicamente en “La Ventanilla” se registraron especies con hábitos acuáticos: pedrete corona clara (*Nyctanasa violacea*) y garza cucharón (*Cochlearius cochlearius*), lo que sugiere que aun cuando se trate de un hábitat similar pueden existir factores o características, como la superficie inundable o la estructura de la vegetación, que expliquen la presencia de algunas especies y la ausencia de otras (Bojorges 2011).

3. JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas costeros han estado sometidos a modificaciones en sus estructuras originales debido principalmente a la deforestación y al aumento en superficie de los procesos de salinización. Los bosques de mangle en la zona costera de Oaxaca junto con las poblaciones biológicas que sustentan, han sido altamente afectados, por factores que causan disturbios en estos ambientes (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a).

De la información anterior se deriva la importancia de conocer de qué manera estas modificaciones del hábitat y su ambiente, determinan la presencia y distribución de poblaciones que hagan uso de estos biotopos. Es conocido ampliamente por investigaciones previas, que la influencia de la estructura de la vegetación, condiciona de forma importante el uso o selección que hagan de él la avifauna (Bojorges 2011), por lo tanto si se quieren desarrollar propuestas de manejo de las especies de aves en un área natural que está sujeta a conservación por ser parte de la Sociedad Cooperativa de las Tortugas Escobilla S.C. de R.L., cuyo compromiso es el mantenimiento, preservación, y uso sustentable de estos remanentes de mangle; es fundamental considerar las características de los recursos donde las aves obtienen alimento, protección, espacios de anidación, para cumplir sus ciclos biológicos. De aquí se deriva la importancia de conocer la estructura vegetal y los factores abióticos que influyen en ella.

En el caso particular, de los manglares del santuario La “Escobilla”, es importante el estudio de las relaciones entre la salinidad del suelo, la estructura de la vegetación, así como la riqueza y diversidad de la avifauna, debido a que la información derivada de esta investigación pueda utilizarse para apoyar programas de conservación para los manglares y su avifauna, en un área que es de relevancia mundial por las arribadas masivas de la tortuga golfina. En efecto, la información obtenida de cómo la composición avifaunística varía debido a las características micro ambientales y a la influencia de variables abióticas, sin duda apoyará inferencias más completas y solidas de conservación faunística.

4. OBJETIVO GENERAL

- Establecer una propuesta que apoye un plan de manejo del hábitat salino y las aves asociadas a este, dentro de la laguna “La Salina” de Santa María Tonameca, Oaxaca, México, mediante la evaluación de la salinidad del suelo, análisis de la vegetación, riqueza, abundancia y diversidad de la avifauna, durante un ciclo interanual de humedad y estiaje.

4.1. OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la concentración de sales en los sedimentos de manglar mediante la conductividad eléctrica de extractos de pastas de saturación de suelos.
- Medir la altura y cobertura vegetal para determinar sus características estructurales.
- Estimar la diversidad, abundancia y riqueza de especies de aves.
- Estimar el grado de asociación de la diversidad avifaunística con la salinidad y la estructura vegetal.
- Establecer propuestas que apoyen un plan de manejo del hábitat y su avifauna en el área de estudio.

5. HIPÓTESIS

Debido a los efectos que la salinidad del sustrato tiene sobre la estructura de la vegetación, y los recursos que esta ofrece para el ciclo de vida de las aves, se

espera que la riqueza y diversidad de éstas, presenten un patrón asociado y discernible con los gradientes salino-edáficos en el biotopo mangle, dentro de la laguna “La Salina” ubicada en Santa María Tonameca, estado de Oaxaca, México.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en los alrededores de la laguna “La Salina”, ubicada en los terrenos comunales de la comunidad de Escobilla del municipio de Santa María Tonameca, Pochutla, estado de Oaxaca; entre las coordenadas W 96° 45' 00", W 96° 44' 24" y N 15° 43' 30", N 15° 44' 00". Está delimitada al norte por bienes comunales de San Francisco, del municipio en cita, al sur por el Océano Pacífico, al este y oeste por terrenos comunales con vegetación secundaria (Acahual) y fragmentos de selva baja caducifolia de los bienes comunales del poblado en mención (INEGI, 2005) (Fig. 2). El muestreo de la salinidad, vegetación y avifauna se realizó en una superficie aproximada de un kilómetro cuadrado.

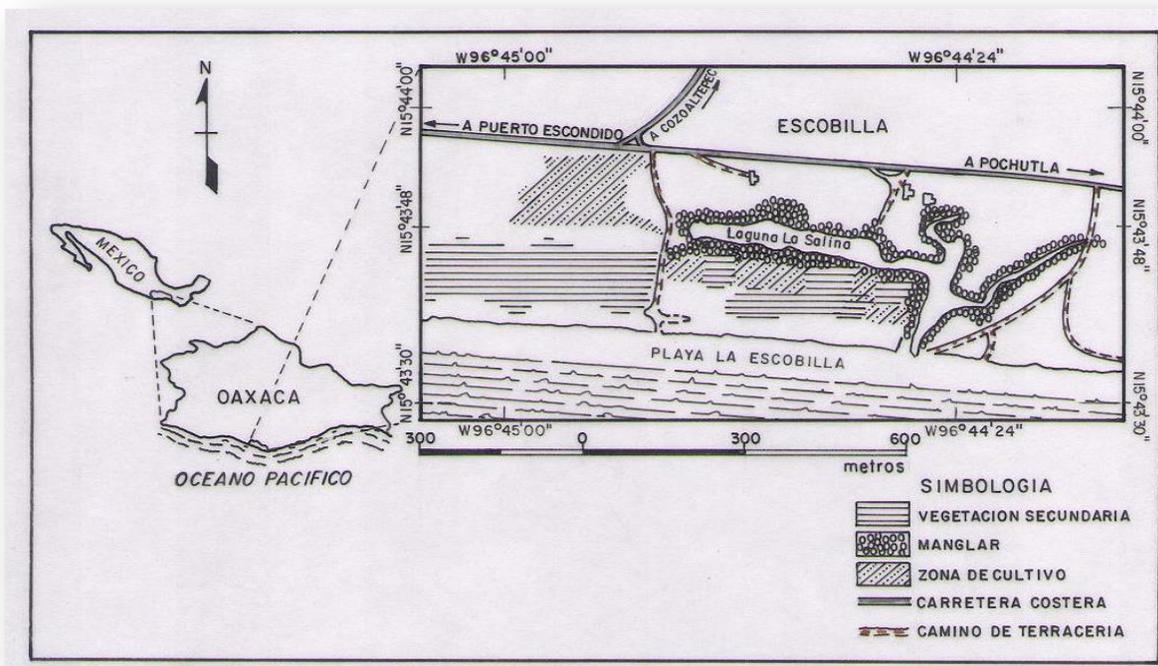


Figura 2. Localización del área de estudio.

6.2. Descripción del área de estudio

6.2.1. Suelos

El área se encuentra dentro la región fisiográfica Planicie Costera, donde la topoforma presente es una llanura costera con lomeríos. De acuerdo con INEGI (2005), los suelos son originados de sedimentos cuaternarios, principalmente de rocas sedimentarias y vulcano sedimentarias. De acuerdo con FAO (2004), el tipo de suelo es Be + Re + Lc, que corresponde a un suelo con predominio de Cambisol eutricto, seguido de Regosol eútrico y Luvisol crómico. Según la Conanp (2009), en general el suelo es delgado, de color claro, poco desarrollado, aun con características semejantes al material que le dio origen, con cambios en estructura o consistencia debido a la intemperización sobre materiales no consolidados. El contenido de bases es de mediano a alto con horizontes arcillosos que evidencian un proceso continuo de lavado de sales (FAO 2004, Conanp 2009).

Según la FAO (2004), los suelos cambisoles eutricos de profundidad media (2.0 m), tienen deficiente estructura y clase textural franca, en asociación de partículas con napa freática somera, que limitan con el mar. Estos, conforman una catena de suelos dominada por una toposecuencia edáfica de aluvión de planicie costera, afectados por ciclos de acumulación de sales de tipo marítimo, que tienden a formar suelos salinos (Solonchkas), en los cuales el biotopo dominante es el manglar (Sánchez *et al.* 2012-a).

6.2.1.1. Caracterización ecohidrológica y acumulación de salinidad en la Laguna

Las siguientes figuras representan aspectos generales de la ecohidrología de la laguna, profundidad de los niveles freáticos y procesos de salinización y desalinización (lixiviación) que ocurren durante los periodos de estiaje y de humedad así como la infiltración hídrica, en tiempos histórico-geológicos en el área de estudio.

En la Figura 3, se muestra en forma esquemática la localización de la laguna “la Salina”, dentro de un perfil transversal costero con el talud continental en su límite con el agua de mar de concentración salina muy alta.

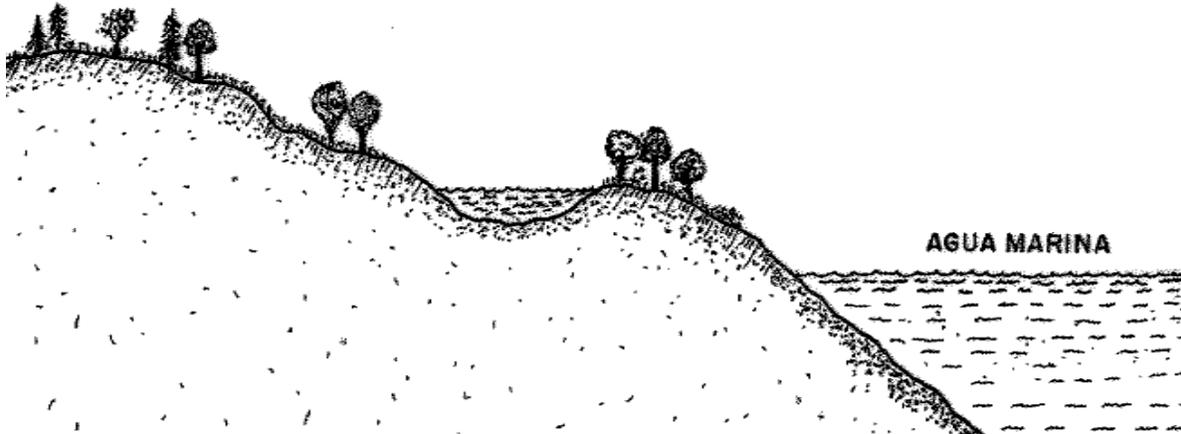


Figura 3. Vista de la laguna “La Salina”, en un perfil transversal costero con el talud continental en su límite con el agua de mar de concentración salina muy alta.

En la siguiente figura, se presenta un corte transversal de la laguna con sus niveles freáticos establecidos y el movimiento del agua debido a procesos de evapotranspiración desde los niveles freáticos y evaporación de la superficie de agua libre lacustre.

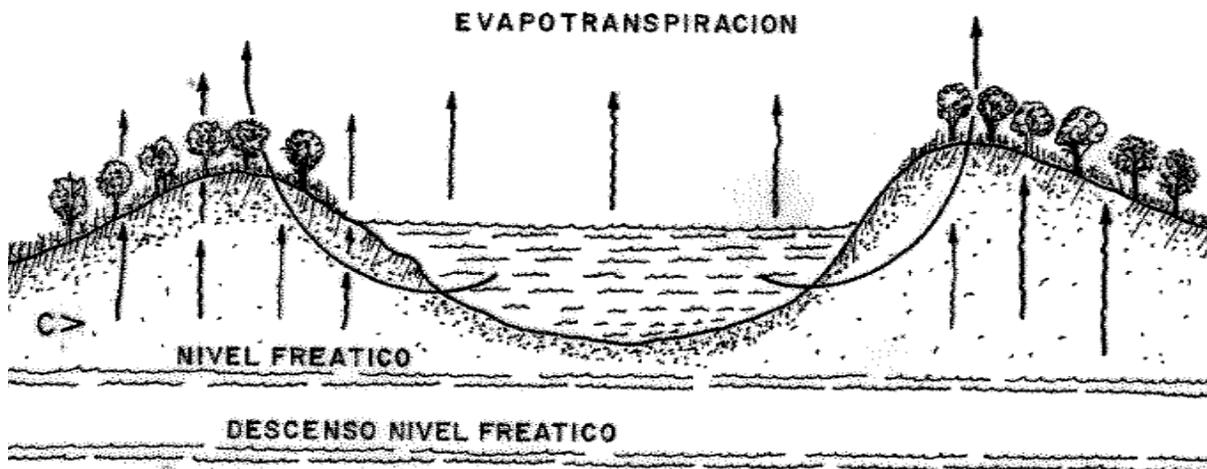


Figura 4. Corte transversal de la laguna “La Salina” con sus niveles freáticos establecidos.

En la Figura 5, se muestra un corte esquemático transversal de la zona costera de la región de Escobilla, donde se indica como el agua de mar de manera subsuperficial ingresa hacia una distancia determinada dentro de la costa, para mezclarse parcialmente con las aguas freáticas de la recarga de la zona costera durante los procesos intensos de evapotranspiración (estación de estiaje). Durante este periodo, como consecuencia de los procesos de evapotranspiración, se salinizan con mucha intensidad los espesores superficiales de los suelos de la zona de Escobilla, cuyos espesores sedimentarios y suelos en los horizontes superficiales se salinizan en forma diferencial debido a la distribución variable de sedimentos durante las riadas y las épocas intermareales. Como consecuencia de estos procesos en las áreas superficiales, se presenta un gran mosaico de suelos con una diversidad de concentraciones salinas en los extractos de saturación de los mismos.

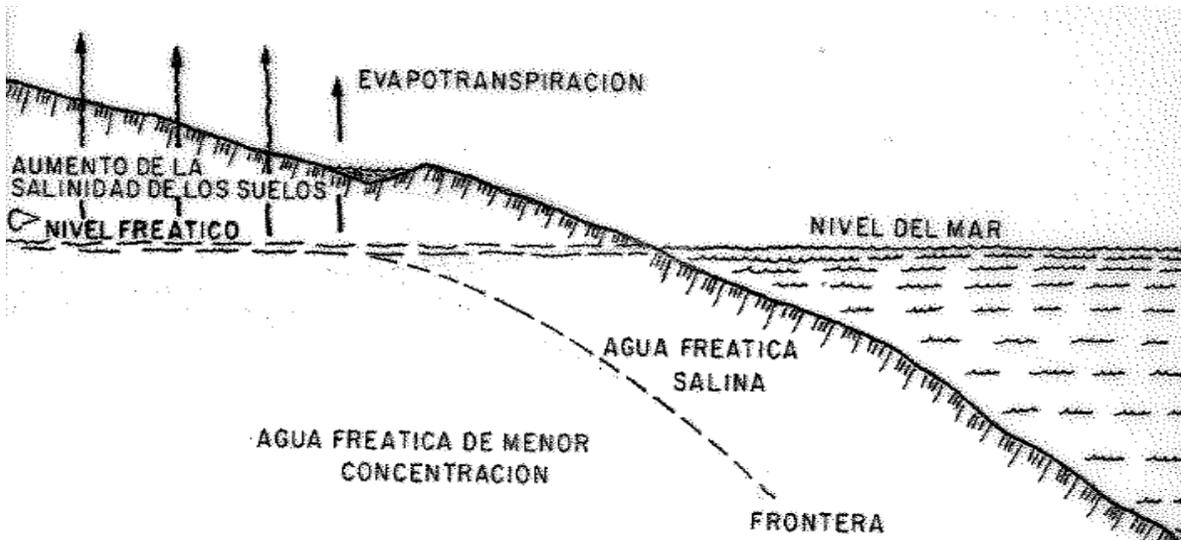


Figura 5. Salinización de suelos costeros de la Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca.

La Figura 6, representa un corte transversal de la zona costera, durante la época de precipitaciones pluviales. En este esquema se muestra como durante la recarga de los niveles freáticos debido a las precipitaciones pluviales, la mezcla de aguas freáticas de menor concentración empujan a las aguas freáticas marinas a la zona libre del talud continental.

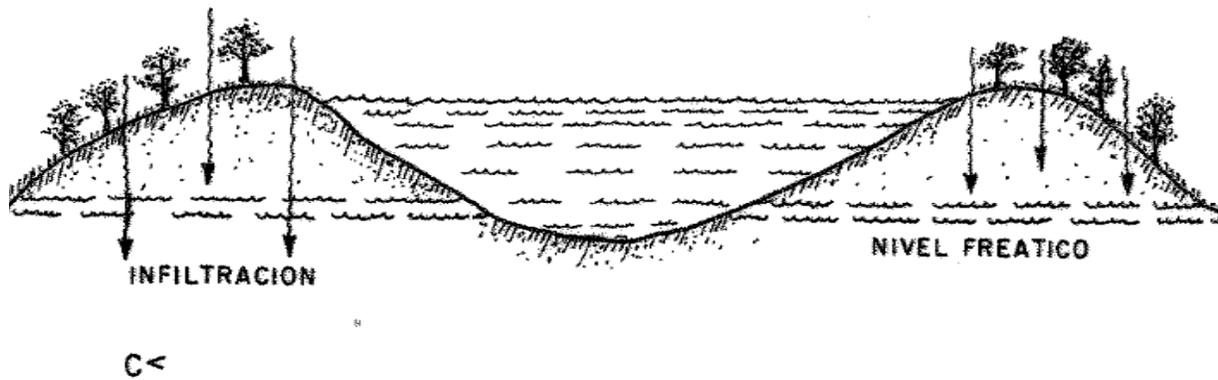


Figura 6. Corte transversal de la zona costera, durante la época de precipitaciones pluviales. (Nota: C< indica baja concentración de sales).

La Figura 7, se presenta un corte transversal de la laguna, mostrando sus condiciones hidrológicas durante la estación de humedad; periodo estacional en el que predominan los procesos de infiltración de las precipitaciones pluviales.

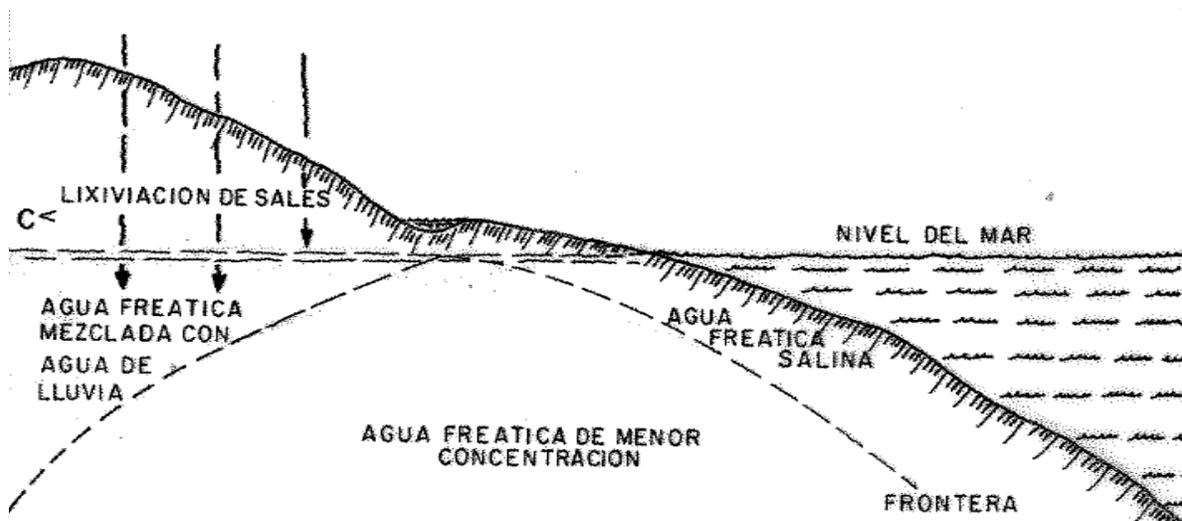


Figura 7. Corte transversal de la laguna "La Salina" mostrando condiciones hidrológicas durante la estación de humedad.

6.2.2. Vegetación

La diversidad vegetal en el área de estudio corresponde a ecosistemas de manglar, selva baja caducifolia y remanentes de selva mediana caducifolia con vegetación secundaria (Acahual). Para el caso de las especies de mangle, están establecidas tres especies *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, listadas dentro de la Norma NOM-059-Semarnat (2010) bajo

protección especial. La selva baja caducifolia presenta especies vegetales como *Calycopyllum candidissium*, *Acacia farnesiana*, *Leucaena leucocephala*, entre otras. Los remanentes de selva mediana caducifolia están representadas por un estrato arbóreo de *Cordia dentata*, *Lonchocarpus constrictus* y *Lysiloma microphyllum*. En el segundo estrato se encuentran especies como *Crataeva tapia*, *Cochlospermum vitifolium*, *Guazuma ulmifolia* y *Gliricidia sepium*, propias de lugares perturbados y vegetación secundaria (Conanp 2009, Semarnat 2010).

6.2.3. Avifauna

Mediante revisiones de literatura sobre monitoreos realizados en el área de estudio por Conanp (2009), se obtuvieron datos que muestran el registro de 90 especies de aves. Las familias más representativas por su número de especies son Accipitridae, Icteridae, Columbidae, Trochilidae y Tyrannidae. Los recientes monitoreos en las zonas lagunares confirmaron registros de especies previamente conocidos como la garza tigre (*Tigrisoma mexicanum*) y la garza pico de cuchara (*Cochlearius cochlearius*), así como otras aves acuáticas que se reproducen entre los manglares como son: *Ardea alba*, *Egretta caerulea*, *Bubulcus ibis*, entre otras (Conanp 2009).

6.3. Muestreo y análisis de sedimentos de suelo

Dadas las características del área de estudio en relación a la geoquímica uniforme del paisaje, topo secuencia homogénea y predominio del biotopo mangle, la determinación de las características tipogénicas del suelo, consistió en el establecimiento de 16 monolitos edáficos con diámetro de 40 cm y profundidad de 60 cm, tanto en la estación de estiaje como en la estación de humedad, lo que arrojó un total de 32 perfiles muestrales. Para cubrir la mayor superficie posible se realizaron recorridos de transectos en zigzag, de manera que cada punto de muestreo se estableció a distancia de 200 m entre monolitos, para lo cual se atendió la metodología señalada por Semarnat (2002), Troeh & Palmer (1980). En cada monolito se colectaron 2 kg de sedimento del espesor 0-60 cm, profundidad promedio a la que penetran las raíces de mangle. El periodo de muestreo

comprendió de agosto a noviembre de 2012 para la estación de humedad, y de marzo a junio de 2013 para la estación de estiaje. Las muestras de suelo se secaron al aire libre y se colocaron en bolsas de polietileno obscuro, debidamente selladas e identificadas para su traslado al área de Análisis de Suelos y Aguas del Laboratorio de Semillas de la Universidad del Mar campus Puerto Escondido, y en el Laboratorio de Aguas y Suelos Salinos del Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, donde se procedió a tamizar las muestras para realizar análisis físico-químicos con base en extractos de saturación (Richards 1985). Estos análisis consistieron en la determinación de los parámetros pH y Conductividad Eléctrica (CE) en dS m^{-1} , mediante el uso de un equipo multifuncional marca Hanna Instruments modelo HI 98129. Asimismo se determinaron los sólidos totales disueltos (mg L^{-1}) de las muestras de suelo, a través del residuo seco evaporado (RSE) y calcinado (RSC), para lo cual los extractos de saturación se secaron en mufla a 105°C y 600°C , respectivamente.

Los aniones y cationes se determinaron de acuerdo con las siguientes marchas analíticas: los carbonatos y bicarbonatos (CO_3^{2-} , HCO_3^-), se determinaron por volumetría, utilizando como indicadores la fenolftaleína y el anaranjado de metilo. Los cloruros (Cl^-) se determinaron con nitrato de plata (AgNO_3) con una normalidad de 0.01 N; los sulfatos (SO_4^{2-}) se determinaron por turbidimetría, el sodio y el potasio (Na^+ , K^+) se determinaron por flamometría; el calcio y el magnesio (Ca^{2+} Mg^{+2}) se determinaron por el método titrimétrico con ácido etil diaminotetra acético (EDTA). Finalmente para la determinación de la clase textural de los suelos (porcentaje de arena, limo y arcilla) se utilizó la metodología de Bouyoucos (Troeh y Palmer 1980). Todas las marchas analíticas están descritas en el manual 60 del laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de América (Richards1985).

En lo relativo al establecimiento de gradientes salinos de los sedimentos lacustres, se tomó en consideración la geomorfología de la laguna, conformada por una asociación de lomeríos y bajíos. Sus características expresan condiciones geomorfológicas de planicie aluvial costera con deficiente drenaje natural,

diferencias de cargas hidráulicas que permiten libre flujo de aguas freáticas en zonas saturadas; cuya hidrología superficial está conformada por riadas que en diferentes periodos temporales transportan agua y sedimentos a la laguna, las cuales al sellar canales naturales de avenamiento lagunar, forman vados o pequeños conos de captación en las que se reconcentran las aguas salinas.

Como consecuencia, estos afluentes freáticos que están mineralizados en estación de estiaje, ascienden a la superficie por capilaridad, pero que en estación de humedad con el ingreso de aguas de precipitación pluvial que alimentan la laguna, tienen un efecto de dilución y por ende de disminución de niveles salinos, lo que origina diversos procesos de acumulación salina en la laguna y un mosaico de concentraciones diversas.

Para registrar dicha variación de salinidad, se realizó un recorrido observacional, prospectivo, transversal, analítico y descriptivo en la laguna (Méndez *et al.* 1986). Posteriormente los muestreos y análisis de suelo practicados, permitieron identificar espacios de acumulación salina severa, intermedia y baja que fueron mapificados. Asimismo los valores de CE obtenidos se compararon con los valores umbrales de tolerancia a sales reportados por Mass & Hoffman (1977), para diversas plantas cultivadas y halófitas que comprenden valores de CE de 4.0 a 54.68 dS m⁻¹, equivalentes a concentraciones salinas de 2.56 a 35 g L⁻¹, respectivamente. También se tomaron en cuenta los valores de CE señalados por Richards (1985), para clasificar suelos salinos. Lo anterior sirvió como patrón de referencia para agrupar los valores de Conductividad eléctrica (CE) en intervalos de confianza para lo cual se tomó en cuenta el valor máximo y mínimo de salinidad. Esta amplitud se dividió entre el número de intervalos considerados por diversos investigadores como Sánchez-Bernal *et al.* (2012a-b) para evaluar tolerancia de las plantas a la salinidad y que en orden de menos salino a más salino son los siguientes: (0 a 4.0 dS m⁻¹) no salino; (4.0 a 8.0 dS m⁻¹) moderadamente salino; (8 a 15 dS m⁻¹) salino y (>15dS m⁻¹) hipersalino. Los intervalos de salinidad de la solución de los suelos así obtenidos, se consideraron

como niveles o gradientes de salinidad a partir de los cuales se evaluó la cobertura del mangle y su efecto en la distribución de avifauna.

6.3.1. Análisis Estadístico

De los 16 puntos de muestreo edáficos se determinó la salinidad promedio, su coeficiente de variación y desviación estándar con el uso de Statistical Analysis System SAS (SAS 2010). Estos valores promedios de salinidad obtenidos en laboratorio, se ordenaron de acuerdo a una amplitud de los mismos (el intervalo entre las cifras más alta y más baja) como guía, por tanto los datos de CE se integraron a un número de intervalos o gradientes salinos de tamaño conveniente; así, las concentraciones salinas similares se asignaron a un intervalo de clase también denominado gradiente salino. Por lo tanto cada dato de CE se integró dentro de los intervalos asociados a cada gradiente salino, lo que permitió distinguir la distribución zonal de la salinidad del área de estudio. En función de lo anterior, se designaron cuatro intervalos de clase o gradientes salinos para la estación de estiaje y tres para la estación de humedad. Una vez reconocidos estos gradientes salinos, se determinaron los valores promedios de salinidad dentro de cada gradiente, para ambos periodos del estudio.

Los datos que resultaron de la colecta de monolitos de suelo, se organizaron en tablas de frecuencias, para lo cual se utilizó la variable conductividad eléctrica (CE). En el Tabla IV, se señala el procedimiento que se siguió para establecer los gradientes salinos.

Tabla IV. Gradientes salinos y valores de Conductividad Eléctrica (CE) determinados para los suelos sedimentarios de la laguna “La Salina”.	
Gradiente salino	CE (dS m⁻¹)
I	(0, 5.0]
II	(5.0, 25.0]
III	(25.0, 45.0]
IV	(45.0, 65.0]

A estos datos se les practicó estadística descriptiva con base en promedios, desviación estándar y coeficiente de variación. Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, análisis de varianza y prueba de medias con Duncan, para comparar todas las medias de los gradientes entre sí, sin restricciones, con $\alpha=0.05$.

6.4. Muestreo y análisis de la estructura del manglar

Para la determinación de la estructura de la vegetación mediante medidas biométricas, se utilizó el método de punto centrado en cuadrante. Los muestreos de estos parámetros, se realizaron en los sitios donde se habían recolectado los sedimentos de suelo y donde se efectuó el muestreo de avifauna. Se realizaron 32 muestreos, 16 para la estación de estiaje (abril-junio 2013) y 16 para la estación de humedad (agosto-noviembre 2013). Se identificaron las especies de las asociaciones vegetales *in situ*, determinándose tanto la cobertura foliar como la altura de cada individuo en todos los sitios de muestreo. Para tal efecto, en el centro de los sitios, se trazaron un par de coordenadas ortogonales y se midieron las distancias entre el punto y los cuatro árboles más cercanos ubicados en los cuadrantes. En cada punto se registraron las medidas biométricas de altura, cobertura y diámetro a la altura del pecho (DAP) a 30 cm por encima de la última raíz aérea donde inicia el fuste, esto de acuerdo a los criterios de Cintrón & Schaeffer-Novelli (1985). La altura (m) se midió a partir de esos 30 cm sobre el nivel del suelo hasta la parte más alta de la copa, para lo cual se utilizó una pistola Haga. Su área de copa (m) se midió considerando el largo y ancho de la misma, mediante la fórmula de la elipse $A = \pi \left(\frac{l}{2}\right) \left(\frac{a}{2}\right)$, donde A = área de copa, l = largo de copa (m); a = ancho de copa (m), según método indicado por Citrón *et al.* (1978). La ventaja de usar el método de punto centrado en cuadrante es que no se necesita ajustar el tamaño de la unidad de muestreo a las condiciones particulares de la vegetación (Montani & Busso 2004; Muller-Dombois & Ellenberg 1974).

6.4.1. Análisis Estadístico

Con las mediciones de altura, diámetro a la altura del pecho y el área de copa, consideradas estas en calidad de mediciones biométricas de la estructura vegetal, se obtuvieron promedios, así como el coeficiente de variación y su desviación estándar. Enseguida cada estructura vegetal de acuerdo a su desarrollo se asoció a un gradiente salino específico y se hicieron las correlaciones respectivas. Se establecieron diferencias significativas para las mediciones biométricas de vegetación en función de los gradientes salinos de la zona de estudio, mediante análisis exploratorio de normalidad (Shapiro-Wilk), análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y prueba de medias de Duncan, para lo cual se utilizó el software SAS (SAS 2010).

6.5. Muestreo y análisis de avifauna

Comprendió muestreos sistemáticos en las estaciones de estiaje y humedad. De abril a noviembre de 2013. Se establecieron 16 puntos de conteo con un diámetro de 15 m, en los mismos sitios de muestreo de suelos y vegetación (Terborgh *et al.* 1990, Gómez de S. *et al.* 1999, 2001).

Las observaciones de especies de aves se realizaron tres días por evento de muestreo, a partir del amanecer hasta las 11:00 a.m., y tres horas antes del anochecer. Se contabilizaron las especies de aves escuchadas y observadas dentro del diámetro establecido durante 20 minutos. El avistamiento de las aves se llevó a cabo con binoculares marca Swift Audubon® 8.5 x 44, la determinación de especies se obtuvo con el apoyo de guías de campo (Howell & Web 1995; Edwards 1998; National Geographic 1999; Kaufman 2005), también auditivamente con grabaciones obtenidas de Coffey & Coffey (1989). La riqueza de especies se obtuvo con la suma de las especies observadas y escuchadas dentro del diámetro establecido en los 16 puntos de conteo. La abundancia de las especies se agrupó en las siguientes categorías: especies comunes, las registradas siempre con 15 individuos o más; no comunes, las registradas con 5 a 14 individuos y raras las registradas con 4 individuos o menos (Bojorges & López-Mata 2006). De igual forma, a cada una de las especies de aves se les asignó un estatus de

permanencia en el área de estudio, ya sea residente, migratoria o estacional, de acuerdo a los criterios de Howell & Webb (1995).

6.5.1. Análisis Estadístico y análisis de correlación

Con los datos de riqueza y abundancia obtenidos se estimó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') para cada punto de conteo. La cuantificación de estos parámetros se llevó a cabo para cada una de las estaciones climáticas.

La distribución de especies de aves y su abundancia se establecieron de acuerdo a los gradientes salinos edáficos identificados en campo, en las dos estaciones climáticas. Se efectuó un análisis de varianza con el software PAST para evaluar las diferencias significativas entre riqueza, abundancia e índice de diversidad por separado, para estas tres variables, tanto entre estaciones climáticas, como por gradientes salinos entre cada estación (PAST 2001), con previo análisis exploratorio de datos para corroborar la normalidad de los datos (test Shapiro-Wilk). Con los datos obtenidos en ambas estaciones climáticas, se determinó la similitud de la riqueza avifaunística con el coeficiente de comunidad de Jaccard (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974). Se evaluaron las diferencias de la abundancia de especies, mediante un análisis de Kruskal-Wallis, y de la diversidad de especies con una prueba de t de Hutcheson por pares (PAST 2001; Zar 1999). Para determinar el grado de asociación entre las variables (salinidad, estructura vegetal y diversidad de aves) y con el fin de medir la intensidad de una relación entre estas, se realizó un análisis de correlación; tanto entre las dos estaciones climáticas, como de forma independiente de cada una de ellas. Adicionalmente, se evaluó con un análisis de correlación canónica la relación que existe entre las variables avifaunísticas (riqueza, abundancia, diversidad) y las variables ambientales (vegetación y salinidad) para cuantificar la existencia de la correlación más alta posible entre estos grupos para todo el ciclo y para cada una de las estaciones climáticas. Estos análisis se apoyaron en el software Statistica & Past (Statistica 2004; PAST 2001).

7. RESULTADOS

7.1. Química salina de los sedimentos de suelo

La caracterización química de los suelos, para las dos estaciones se muestra en la Tabla V. En la estación de estiaje y humedad, los datos de salinidad tienen distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk. Estiaje $w=0.932$ $P=0.9626$; Humedad $w=0.7361$ $P=0.4346$. Para el caso de la estación húmeda, la CE de los extractos acuosos de pastas de saturación del suelo en promedio es de 9.83 dS m^{-1} equivalente a 8.89 g L^{-1} , e indican una elevada salinidad. Por su parte la salinidad evaluada a través del RSC fue de 5.69 g L^{-1} , que no obstante ser menor a la reportada mediante conductímetro, es consistente con valores de alta salinidad del suelo. Así mismo la composición de iones mayoritarios de la solución edáfica revela el predominio de iones $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ y de $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$; de tal forma que las sales hipotéticas de mayor ocurrencia en la solución de estos suelos presentan el siguiente orden: $\text{NaCl} > \text{MgCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3$.

En lo relativo a los niveles salinos determinados en los sedimentos lacustres, se obtuvo lo siguiente: Para la estación de humedad, la menor concentración salina con intervalos de CE del orden de 0.30 dS m^{-1} a 4.54 dS m^{-1} , se registró en la parte oeste de la cubeta lacustre (gradiente salino I), representativa del área regenerativa de sucesión vegetal donde crece y desarrolla el acahual, caracterizada por la existencia de árboles de crecimiento secundario (Fig. 8). Los monolitos cuatro, seis, 14 y 15, registraron los menores valores de concentración salina (en promedio 0.91 g L^{-1} ó CE de 1.43 dS m^{-1}). En las inmediaciones de la parte central de la cubeta lacustre se monitorearon manchones salinos con CE de 6.46 a 18.40 dS m^{-1} equivalentes a concentraciones de 4.13 a 11.78 g L^{-1} respectivamente, que pertenecen al gradiente salino II, identificado en los monolitos uno, tres, nueve, 10, 11, 12 y 13 (Fig.8). Por su parte, la mayor concentración salina se registró en la parte central de la laguna, donde se determinaron CE del orden de 35.69 dS m^{-1} a 36.60 dS m^{-1} , correspondientes al gradiente salino III, detectado en los monolitos cinco y ocho (Fig.8).

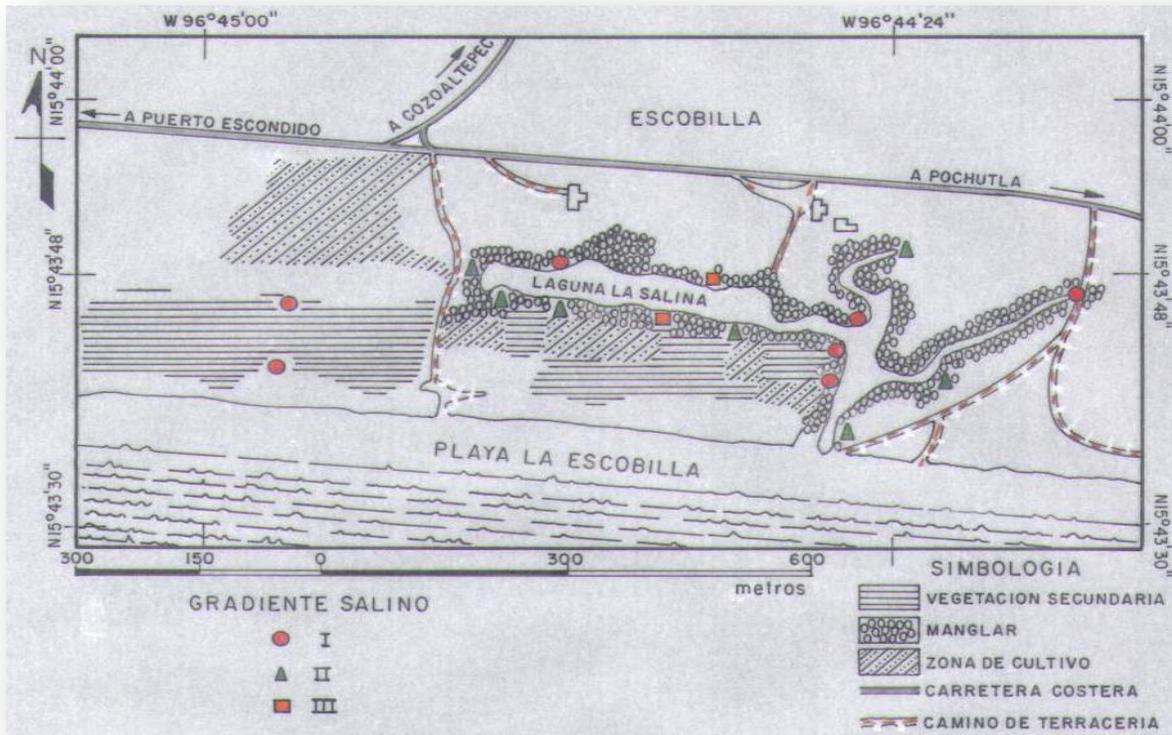


Figura 8.- Localización de los tres gradientes salinos identificados para la estación climática húmeda.

Tabla V. Valores de conductividad eléctrica (CE) y de residuo seco calcinado (RSC) para las dos estaciones interanuales de humedad y estiaje.

Identificación Monolito de suelo.	HUMEDAD		ESTIAJE		Parámetros estadísticos	
	CE ($\text{dS}^{-1} \text{ m}$)	RSC (mg L^{-1})	CE ($\text{dS}^{-1} \text{ m}$)	RSC (mg L^{-1})	Humedad (CE) $M= 9.83$ $\sigma = 11.26$ $CV = 1.14$	Estiaje (CE) $M= 26.61$ $\sigma = 20.05$ $CV = 75.3$
Sitio 1	10.63	6432	14.29	9270		
Sitio 2	2.10	1280	34.72	24590		
Sitio 3	8.77	4988	34.89	21464		
Sitio 4	1.65	1060	39.20	19730		
Sitio 5	35.69	17452	43.60	26160		
Sitio 6	1.95	1212	2.68	1660		
Sitio 7	2.96	1270	40.10	22300		
Sitio 8	36.60	17272	50.00	29660		
Sitio 9	10.59	5904	41.90	22500		
Sitio 10	6.46	3548	12.85	8150		
Sitio 11	7.26	3992	22.36	13280		
Sitio 12	7.57	4236	65.50	31984		
Sitio 13	18.40	18400	21.83	13600		
Sitio 14	0.30	300	0.39	300		
Sitio 15	1.82	2909	0.34	180		
Sitio 16	4.54	1170	1.20	630		

En este periodo de humedad, se determinó que la concentración de sales en la zona central de la laguna es significativamente superior a las zonas marginales, ($P=0.0008$), prueba de Duncan, $F=106.6$, $gl=2$), por lo que se puede señalar la existencia de gradientes salinos que determinan la distribución de mangle en el lugar. Así en el nivel salino I con CE de 2.18 dS m^{-1} , equivalente a una concentración salina de 1.39 g L^{-1} la vegetación predominante es de *C. erectus* y acahuales; en el nivel salino II con salinidad promedio de 9.55 dS m^{-1} crecen las especies *C. erectus* y *L. racemosa*, y en el nivel salino III con salinidad promedio de 36.14 dS m^{-1} la especie de mangle predominante es *L. racemosa*.

Por su parte, en la estación de estiaje, los monolitos seis, 14, 15 y 16 (gradiente I), localizados en la margen noroeste de la laguna, registraron los menores valores de concentración salina (en promedio 0.69 g L^{-1} ó $CE=1.15 \text{ dS m}^{-1}$) razón por la cual se integraron al nivel salino más bajo (NI) (Fig.9).

En contraste, las mayores concentraciones salinas se registraron en los monolitos ocho y doce (gradiente IV), localizados dentro de la margen lateral norte de la cubeta lacustre y sobre el arroyo de orientación este, con conexión a la bocabarra respectivamente (Fig.9); en los cuales se registraron CE del orden de 50 dS m^{-1} y 65 dS m^{-1} respectivamente, englobándose dentro del Nivel IV. La inferencia estadística con $P=0.0001$ (prueba de Duncan, $F=83.28$, $gl=3$), indica que la concentración de sales del nivel salino IV, es significativamente superior a las de los otros niveles de salinidad.

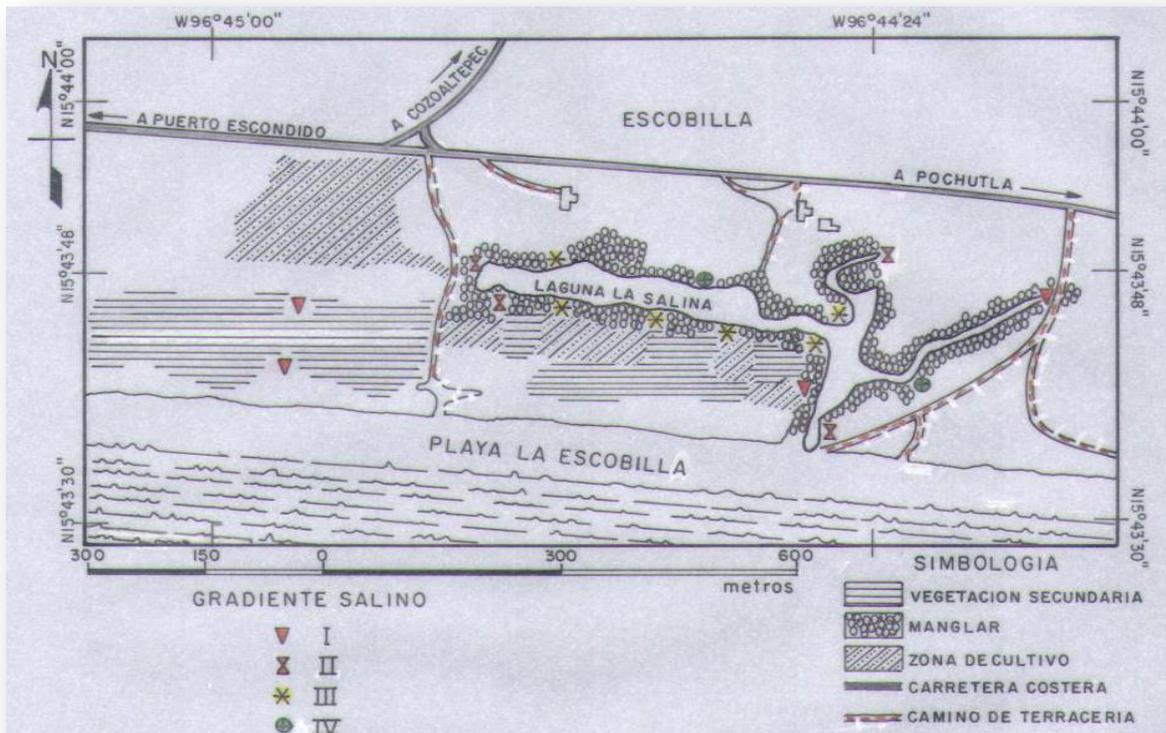


Figura 9.- Localización de los cuatro gradientes salinos identificados para la estación climática de estiaje.

Las medias de los valores de CE de cada gradiente salino, tanto en estiaje como en la estación de humedad se muestran en las Tabla VI y VII. Existe una disminución de las concentraciones salinas en los sitios de muestreo edáficos para la intervalo agosto–noviembre 2012, (estación de humedad), ya que en total nueve sitios corresponden a un nivel salino con CE inferior a 10 dS m^{-1} ; esto contrasta con los valores de CE determinados en abril-junio 2013 (estación de estiaje), que abarcaron cuatro puntos de muestreos edáficos. En efecto, en este periodo, el número de sitios con valores inferiores de CE de 10 dS m^{-1} , fueron los monolitos seis, 14, 15 y 16 con valores de CE de 2.68 dS m^{-1} 0.39 dS m^{-1} 0.34 dS m^{-1} y 1.20 dS m^{-1} respectivamente. Cabe resaltar que el monolito número seis, registró el valor de CE más bajo en relación a los monolitos que se distribuyen a lo largo de la orilla de la laguna.

Tabla VI. Medias de conductividad eléctrica (CE) obtenidos de extractos de saturación del suelo para cada gradiente salino (estación climática de estiaje).

Gradiente salino	Conductividad eléctrica (CE)	
I	1.15 dS ⁻¹ m	a*
II	17.83 dS ⁻¹ m	b*
III	39.06 dS ⁻¹ m	c*
IV	57.75 dS ⁻¹ m	d*

a, b, c, d: Prueba de medias entre niveles de CE para la variable Gradiente salino. Letras iguales indican la no existencia de diferencia significativa. (*) Diferencia significativa con Prueba de Duncan (P=0.05).

Tabla VII. Medias de conductividad eléctrica (CE) obtenidos de extractos de saturación del suelo para cada gradiente salino (estación climática de humedad).

Gradiente salino	Conductividad eléctrica (CE)	
I	2.18 dS ⁻¹ m	a*
II	9.95 dS ⁻¹ m	b*
III	36.14 dS ⁻¹ m	c*

a, b, c: Prueba de medias entre niveles de CE para la variable Gradiente salino. Letras iguales indican la no existencia de diferencia significativa. (*) Diferencia significativa con Prueba de Duncan (P=0.05).

7.2. Vegetación

Se presentan los resultados biométricos de la estructura vegetal dentro del marco de los gradientes salinos edáficos, para las dos estaciones climáticas, cuyos datos tienen distribución normal, prueba Shapiro-Wilk, estación de estiaje $w=9472$ $P=0.446$; estación de humedad $w=0.9468$ $P=0.4414$. Para el caso de la estación de estiaje se observa que el gradiente salino nivel II (CE 17.83 dS m⁻¹) arrojó los menores valores de área de copa con promedios de 31.54 m². Por su parte el mayor valor de área de copa se obtuvo en gradiente salino nivel I (CE 1.15 dSm⁻¹) con valor promedio de 98.17 m², significativamente superior ($P=0.03$), bajo la prueba de Duncan, $F=1.522$ $gl=3$. Es importante señalar que se observaron cambios en el desarrollo de la parte aérea de las especies de mangle y acahual establecidas en los niveles más salinos.

La altura arbórea indica que el mayor valor promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo de árboles de mangle fue 11.62 m, 6.42

m, 55.23 m, 4.5 m, 20 m; respectivamente para esta estación, se obtuvieron en las zonas de distribución del nivel salino I, donde las principales asociaciones de manglar, corresponden a asociaciones mixtas de *C. erectus* y *A. germinans*, con predominancia de la primera especie. En estas zonas se distingue una sucesión secundaria de acahual compuesta por reminiscencias de selva baja subcaducifolia y una combinación de árboles, arbustos, herbáceas y gramíneas introducidas. En seguida, para el Nivel salino II, las asociaciones mixtas corresponden a *L. racemosa* y *C. erectus*, que se ubican de manera intermitente a lo largo de toda la laguna, especialmente donde se cierra la cubeta lacustre en su margen occidental, es decir en el extremo de la laguna que conecta con la playa y es limítrofe con el mar (bocabarra). Al norte, en el extremo más alejado de la playa, se observó la presencia de esta asociación en el límite con tierra firme de la laguna. En el nivel salino III, la altura de árboles de mangle arrojó un valor promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimo y máximo más bajo, 6.25 m, 2.09 m, 33.46 m, 4.0 m, 9.5 m, respectivamente. Este gradiente se encuentra dentro de la cubeta lacustre de la Laguna "La Salina" que se caracteriza por una distribución asociada de *L. racemosa* y *C. erectus* con claro predominio de la primera especie. Ambas se distribuyen en banda a lo largo de la orilla lagunar con evidentes áreas de fuerte fragmentación por causas antropogénicas de fácil identificación, como la presencia de áreas de cultivo de maíz y cacahuate, localizadas en paralelo a las bandas de mangle mixto.

Por otra parte, para distinguir el contraste con la estación climática de humedad se reconocieron tres gradientes diferentes, cuyas mediciones de vegetación para cada uno de ellos son las siguientes: El gradiente salino I con CE promedio (2.50 dS m^{-1}), arrojó evaluaciones biométricas de cobertura vegetal promedio de 98.17 m^2 y altura promedio de 10.14 m, para siete puntos muestrales, que se ubican en los márgenes de la laguna y zonas aledañas a la misma. En el siguiente gradiente, (nivel salino II), con valor de CE promedio de 8.54 dS m^{-1} , la evaluación biométrica de cobertura vegetal promedio fue de 66.76 m^2 y altura promedio de 8.42 m. Las asociaciones de *L. racemosa* y *C. erectus*, son comunes en este sitio, así mismo

se detectó la presencia de *A. germinans*, especie de mangle que puede establecerse en sitios con mayor salinidad.

Por último se estableció el gradiente con mayor CE (36.14 dS m⁻¹) que corresponde al nivel salino III. Dos puntos de muestreo pertenecen a esta categoría y en ellos se evaluaron valores promedio de 97.64 m² de cobertura vegetal y 6.0 m de altura; cuyos sitios se encuentran dentro de la cubeta lacustre con asociaciones vegetales de *A. germinans* y *L. racemosa*. El dosel foliar fue semejante al nivel salino I, pero se observó una clara disminución de la altura, ya que en este gradiente se registró el valor promedio más bajo con respecto a este parámetro.

Los valores de concentraciones iónicas en general fueron más bajos en la estación de humedad que los registrados en la estación de estiaje (Tabla V). En esta última estación se determinaron cuatro niveles salinos, respecto de los cuales el gradiente IV es estadísticamente diferente en comparación de medias entre niveles salinos (prueba de Duncan, p=0.0001), pues conformó un patrón hipersalino con CE>50 dS m⁻¹. Los distintos gradientes inducen diferencias en las características morfométricas de las asociaciones de mangle y para cada una de las tres especies presentes (Tabla VIII).

Tabla VIII. Medias de valores de Área de copa y Altura, para cada gradiente identificado (estación climática de estiaje y humedad).

Gradiente salino (estiaje)	Área de copa (m²)		Altura (m)	
I	98.17	a*	11.62	a
II	31.54	b*	9.0	a
III	48.10	c*	6.25	b*
IV	75.01	d*	9.75	a
Gradiente salino (humedad)	Área de copa (m²)		Altura (m)	
I	95.18	a	10.14	a
II	66.76	b*	8.42	a
III	97.64	a	6.0	b*

a, b, c, d: Prueba de medias entre niveles de área de copa y altura para la variable gradiente salino. Letras iguales indican la no existencia de diferencia significativa. (*) Diferencia significativa con Prueba de Duncan (P=0.05).

7.3. Avifauna

Durante 43 horas de observación se registraron 704 individuos pertenecientes a 16 Órdenes, 30 Familias y 60 especies de aves, de ellas, 48 fueron residentes y 12 migratorias; además, 22 fueron comunes, 8 no comunes y 30 raras. De las 60 especies, tres especies son endémicas de la costa (*Ortalis poliocephala*, *Trogon citreolus*, *Melanerpes chrysogenys*). Las familias con mayor número de especies fueron Ardeidae e Icteridae, con siete y seis especies, respectivamente. Las especies con mayor número de individuos fueron *Columbina inca* (Columbiformes: Columbidae); *Coragyps atratus* (Accipitriformes: Cathartidae), *Tyrannus melancholicus* (Passeriformes: Tyrannidae) y *Quiscalus mexicanus* (Passeriformes: Icteridae). Adicionalmente se registraron cinco especies en las proximidades de los puntos de conteo: *Patagioenas flavirostris*; *Fregata magnificens*; *Chloroceryle aenea* y *Ceryle torquata*, así como *Mycteria americana* (Apéndice 2).

Se registraron 55 especies correspondientes a la estación de estiaje, con una abundancia de 351 individuos. Para la estación de humedad, se registraron 47 especies, con una abundancia de 353 individuos. Se determinaron los valores para obtener número de especies, abundancia e índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), para cada uno de los 16 puntos de conteo, tanto en la estación de estiaje como en la húmeda, con el propósito de caracterizar cada punto y discernir patrones entre ellos. Los resultados de dicha evaluación se muestra en la Tabla IX.

Tabla IX. Riqueza, abundancia y diversidad (H') de especies de aves registradas por sitio de muestreo para las dos estaciones climáticas.

Muestra	Estación climática de estiaje			Estación climática de humedad		
	Riqueza	Abundancia	Diversidad	Riqueza	Abundancia	Diversidad
1	11	19	2.23	7	23	1.8
2	11	20	2.15	6	13	1.58
3	10	17	2.34	7	19	1.70
4	8	21	1.80	11	21	2.29
5	10	21	2.0	13	23	2.42
6	10	27	1.70	8	16	1.92
7	12	25	2.24	14	26	2.44
8	12	14	2.40	11	19	2.27
9	5	9	1.52	10	20	2.22
10	10	18	2.10	9	15	2.04
11	12	16	2.39	12	23	2.29
12	8	19	1.55	6	20	1.27
13	10	32	1.68	9	18	2.13
14	14	41	2.65	14	35	2.47
15	10	19	2.15	15	36	2.55
16	11	33	2.22	11	26	2.20

Al comparar ambos periodos interanuales, la similitud de especies de acuerdo al modelo de Jaccard fue 0.85. La abundancia de especies no presentó diferencia significativa ($H= 1.125$, $gl = 1$; $P=0.733$). La prueba de t de Hutcheson no evidenció diferencias significativas entre la diversidad de especies estimadas ($t = 0.778$; $gl= 1$, $P=0.07$). Hay evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de diversidad (riqueza, abundancia) de los muestreos para las dos estaciones se distribuyen de manera normal, debido a los supuestos de normalidad de la prueba de Shapiro-Wilk; ya que ($W=0.9433$, $P=0.3917$), para la estación de estiaje y ($W=0.9226$, $P=0.1859$), para la estación húmeda.

La distribución avifaunística de acuerdo a los gradientes salinos fue la siguiente: Para el gradiente salino I en la estación de estiaje, se observaron 28 especies con

120 individuos (27 residentes y 1 migratoria) con una diversidad de 2.80 (Tabla X). Las especies más abundantes fueron *Myiozetetes similis*, *Coragyps atratus*, *Columbina inca*. La riqueza, abundancia y diversidad más alta se registraron en el sitio catorce (Tabla IX); con 14 especies, 41 individuos y 2.65 respectivamente. En la estación húmeda, se observaron 42 especies, 173 individuos (40 residentes y 2 migratorias) y una diversidad de 3.19. Las especies más abundantes fueron *Tyrannus melancholicus*, *Columbina inca* y *Pitangus sulfuratus*. La mayor riqueza abundancia y diversidad correspondió al sitio quince con 15 especies, 36 individuos y una diversidad de 2.55 respectivamente.

Tabla X. Riqueza, abundancia y diversidad (H') de especies de aves registradas en consideración a cada gradiente salino, para las dos estaciones climáticas.

Estación de Estiaje	Riqueza (especies)	Abundancia (individuos)	Diversidad (Shannon)
Gradiente I	28	120	2.80
Gradiente II	18	85	2.70
Gradiente III	31	118	3.05
Gradiente IV	16	33	1.97
Estación de Humedad	Riqueza (especies)	Abundancia (individuos)	Diversidad (Shannon)
Gradiente I	42	173	3.19
Gradiente II	32	138	2.90
Gradiente III	21	42	2.85

Para el gradiente salino II, estación de estiaje, las especies más abundantes fueron *Calocitta formosa*, *Tyrannus melancholicus* e *Icterus pustulatus*. La mayor riqueza y diversidad correspondió al sitio de muestreo 11 con 12 especies y 2.39 respectivamente, mientras que la mayor abundancia la presentó el sitio de muestreo 13 con 32 individuos. En el gradiente salino IV, el sitio de muestreo ocho registró la mayor riqueza con 12 especies e índice de diversidad de 2.40, mientras que el sitio de muestreo 12 registró la mayor abundancia, con 19 individuos.

Para la estación húmeda, el sitio 11 fue el que registró la mayor riqueza, abundancia y diversidad, con 12 especies, 23 individuos y 2.29 de diversidad respectivamente. Para el gradiente salino III, las especies más abundantes fueron

Quiscalus mexicanus, *Tyrannus melancholicus* y *Myiozetetes similis*; el sitio de muestreo siete registró la mayor riqueza y abundancia con 12 especies y 25 individuos, el sitio tres registró la mayor diversidad con 2.34. Para la estación de humedad se registraron 21 especies, 42 individuos y una diversidad de 2.85. Las especies más abundantes en este gradiente corresponden a *Volatinia jacarina* y *Tyrannus melancholicus*. El punto de muestreo cinco fue donde se registró la mayor riqueza, abundancia y diversidad con 13 especies, 23 individuos y 2.42 respectivamente.

La inferencia estadística de acuerdo al análisis de varianza ($P=0.05$) indica que la abundancia de individuos, riqueza de especies e índices de diversidad, no presentó diferencia significativa en los dos periodos interanuales humedad-estiaje: riqueza de especies $F=0.004$, $P=0.944$, $gl=1$; abundancia de individuos $F=0.002$, $P=0.9613$; $gl=1$, diversidad de especies $F=0.057$, $P=0.8116$, $gl=1$.

En la Tabla X, se muestran los índices de diversidad para ambas estaciones interanuales. Los valores del índice de diversidad (H'), oscilan entre 3.19 y 1.97. Se muestra que los valores de número de especies, abundancias y diversidad son más altos dentro del gradiente salino I, tanto en estación de estiaje como de humedad, mientras que el gradiente salino IV y gradiente salino III, de estiaje y humedad, respectivamente, registraron los valores más bajos de número de especies, abundancias y diversidad.

Para ambas estaciones, el análisis de correlación de Pearson, no demostró correlaciones significativas ($P=0.05$) entre las dos estaciones para la abundancia de individuos ($P=0.219$) y riquezas de especies ($P=0.133$). Sin embargo, hay correlaciones significativas entre gradientes de cada estación climática, por ejemplo, correlaciones positivas significativas ($P=0.05$) entre la riqueza de especies y la abundancia ($P=0.03$), así como entre la riqueza y la diversidad ($P=0.001$). En contraparte, se presentan correlaciones negativas significativas ($P=0.05$) entre la salinidad del suelo y la abundancia de aves ($P=0.043$) para la estación climática de estiaje (Tabla XI). En el Tabla XII, se muestran las correlaciones significativas ($P=0.05$) para la estación climática de humedad.

Tabla XI. Coeficientes de Correlación de Pearson significativos entre el índice de diversidad, abundancia, riqueza, altura arbórea, cobertura vegetal y salinidad del suelo, correspondientes a la estación de estiaje.

Variable	Variable	Correlación
Salinidad del suelo	Altura arbórea	-0.50
Salinidad del suelo	Abundancia avifaunística	-0.53
Cobertura vegetal	Altura arbórea	-0.21
Riqueza de especies	Abundancia avifaunística	0.54
Riqueza de especies	Índice de diversidad	0.89

Nota: Prueba estadística de Pearson con $P < 0.05$

Tabla XII. Coeficientes de correlación de Pearson significativos entre el índice de diversidad, abundancia, riqueza, cobertura vegetal, altura arbórea y salinidad del suelo, correspondientes a la estación de humedad.

Variable	Variable	Correlación
Cobertura vegetal	Altura arbórea	0.04
Cobertura vegetal	Abundancia avifaunística	0.65
Abundancia avifaunística	Altura arbórea	0.74
Riqueza de especies	Abundancia avifaunística	0.76
Abundancia avifaunística	Índice de diversidad	0.61
Índice de diversidad	Riqueza de especies	0.93

Nota: Prueba estadística de Pearson con $P < 0.05$

El análisis de correlación canónica consideró las variables originales de avifauna, salinidad del suelo y vegetación. En la Tabla XIII se muestra que la correlación canónica más alta entre los grupos de variables AMBIENTAL (salinidad del suelo, estructura vegetal) y de AVIFAUNA (riqueza, abundancia, diversidad) en el ciclo de estiaje y humedad, el valor de la primera correlación canónica correspondió a $r=0.964$ sin embargo, el valor de la primera correlación canónica no fue estadísticamente significativa ($P=0.245$). El análisis canónico de estas variables, considerándolas de manera independiente dentro de cada estación climática, arrojan valores de significancia estadística.

El análisis de correlación canónica que se realizó para la estación de humedad demuestra una correlación significativa ($P=0.044$) con un $r=0.835$, (Tabla XIII), para riqueza, diversidad y abundancia con la salinidad de suelos, y estructura vegetal. Así mismo, correlaciones que fueron significativas ($P=0.018$) para esta

misma estación, fueron la riqueza, abundancia e índice de diversidad con cobertura y altura vegetal, con un $r=0.801$ (Tabla XIII).

Tabla XIII. Correlaciones canónicas entre las variables avifaúnicas y ambientales.

	Correlación canónica	Ji cuadrada	Valor de significancia
Ciclo completo de estación húmeda y estiaje.(variables avifaúnicas y ambientales)	0.964	41.430	0.245
Estación de humedad (variables avifaúnicas y ambientales)	0.8352	17.252	0.044
Estación de humedad (avifaúnicas y vegetación)	0.801	11.80	0.018

8. DISCUSIÓN

8.1 Salinidad de los sedimentos del suelo

Los suelos del área de estudio fueron identificados como regosoles eutricos, lo que coincide con lo señalado por la FAO (2004), formados por la acumulación sucesiva de sedimentos limosos que han migrado del alto al bajo relieve como resultado de intensos procesos de erosión hídrica y que forman parte de la planicie aluvial costera de Oaxaca (Sánchez-Bernal *et al.* 2014). La condición química de estos suelos en la cual predominan los iones $\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$ en una relación > 2.5 son propias de una salinidad clorhídrica (Kovda 1977).

En estos suelos el horizonte A1 tiene una profundidad aproximada de 15 cm, el horizonte B presenta deterioro de su estructura de migajón fino como consecuencia de procesos de dispersión coloidal inducida por el efecto del sodio del complejo de intercambio catiónico del sistema que es superior a 15%. Este fenómeno tiene estrecha relación con la textura del suelo que en el espesor 0-50 cm, se determinó como areno migajón en la cubeta lacustre, que varía a migajón arenoso hacia la parte costera limítrofe con el mar. Estos sedimentos presentan partículas pelíticas que taponan los poros y causan sellamiento lo que origina una deficiente permeabilidad determinada por Sánchez-Bernal *et al.* (2012-a) en 0.7 cm h^{-1} . En consecuencia tienen deficiente conductividad hidráulica, pobre drenaje natural y excesiva acumulación de agua asociada al ascenso de la napa freática durante la estación húmeda, condiciones todas ellas que originan un ambiente anaeróbico en el suelo. La granulometría arrojó una densidad de 1.67 g cm^{-3} , que de acuerdo a Richards (1985) impide el establecimiento de plantas glicófitas, pero permite el adecuado crecimiento de plantas halófitas adaptadas a dichas condiciones, como lo es el caso del biotopo Manglar.

Los procesos de acumulación de sales en las partes superficiales de los suelos están definitivamente relacionados con el relieve y con ciertas condiciones geomorfológicas e hidrológicas de las terrazas costeras. La salinización ocurre debido al ascenso de las soluciones salinas por procesos de capilaridad (Kovda

1973). En el caso de la zona de estudio, la acumulación de sales en los espesores superficiales de los suelos se debe a los altos niveles de las aguas freáticas. Estos niveles están formados, aproximadamente entre la zona saturada y la zona no saturada de los suelos. Las aguas freáticas debajo de este nivel se mueven libremente debido a la influencia de la gravedad. El flujo libre de las aguas freáticas tiene lugar debido al efecto de una diferencia de carga hidráulica, la cual es causada por un aumento de precipitaciones en la parte alta de la zona costera. El movimiento de las aguas freáticas, en condiciones saturadas en un espesor de suelo determinado es causado por diferencias de carga hidráulica y este movimiento se realiza de acuerdo con la ley de Darcy (Van der Berg *et al.* 1973).

Es necesario señalar que independientemente de las regularidades del movimiento ascendente y descendente de los niveles freáticos de la zona de Escobilla, durante las estaciones de estiaje y de humedad; se ha conformado una micromorfología que depende de las riadas y de los ciclos intermareales.

La topografía que se encuentra actualmente en el área, y particularmente en los alrededores de la laguna “La Salina” se debe a procesos de arrastre de sedimentos que tienen ocurrencia durante riadas y los procesos intermareales, por lo que en términos generales, las condiciones salinas en los suelos sedimentarios, presentan una característica de mosaico de concentraciones diversas tanto en superficie como en profundidad; dependiendo de los procesos particulares de evapotranspiración y de infiltración que se presentan en cada bajío y montículo en la topografía.

Para establecer los gradientes salinos se revisaron tablas de tolerancia de diferentes cultivos, pastos y especies arbóreas como el mangle, a condiciones de salinidad en los suelos. El área de estudio, presenta una coexistencia de vegetación mixta que está conformada por Acahual y mangle. Para establecer los gradientes salinos en particular, se tomó en cuenta la tolerancia del mangle a estas condiciones.

La tolerancia de las plantas a condiciones de salinidad puede ser definida como la capacidad de las plantas para resistir los efectos de los excesos de sales solubles en la zona de las raíces de las plantas en los suelos (Mass & Hoffman 1977). Implícitamente en esta definición se encuentra la idea de que las plantas pueden tolerar una determinada cantidad de sales sin sufrir efectos adversos de estas (Mass & Hoffman 1977). Sin embargo, los niveles de tolerancia de las plantas a la salinidad no son cantidades exactas, ya que esto depende de muchos factores y condiciones de tipo edáfico, nutrimental y de las características particulares de las diferentes variedades de plantas (Mass 1990). Es necesario señalar que, para que sean de utilidad para los productores, las diferentes gradaciones de tolerancia de las plantas a la salinidad, esta tolerancia debe ser definida en términos de una reducción relativa de crecimiento y desarrollo de diferentes plantas en condiciones específicas de distintas concentraciones de sales solubles en los suelos (Mass 1990, 1987).

El decaimiento relativo del crecimiento y desarrollo de la vegetación en condiciones de salinidad, se expresa en términos de fracciones con respecto a los valores de producción que expresan y alcanzan en condiciones no salinas. Por ejemplo, sobre la distribución ecológica del mangle, los gradientes salinos son un aspecto que se ha investigado con frecuencia (Cintrón & Schaeffer-Novelli 1985).

Los suelos del área de estudio presentan una química salina que tiene explicación en los procesos de reconcentración de sales detectados a través de la determinación de valores de CE en pastas de saturación, tal y como lo señala Sánchez-Bernal *et al.* (2012-a). Este nivel de acumulación se explica en función de la repetición del ciclo anual humedad-estiaje, que favorece la concentración de una gran cantidad de sales en la zona de fluctuación de agua; pero no en la de saturación, por ello la acumulación es máxima en la superficie (Oster & Schroer, 1979). El fenómeno es favorecido por la poca profundidad del manto freático en estación de estiaje, deficiente drenaje natural, ascenso capilar de aguas por excesiva evaporación y escasa precipitación pluvial en esta estación, lo que origina una alta acumulación de sales en la superficie que exceden el nivel de

tolerancia de las glicófitas. De acuerdo con Ayers & Westcot (1987), el patrón salino obtenido excede el umbral de tolerancia a sales de las glicófitas que es de 4.0 dS m^{-1} .

Así mismo la composición de iones mayoritarios de la solución del suelo revela el predominio de iones $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ y de $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, de tal forma que las sales hipotéticas de mayor ocurrencia en la solución de estos suelos presentaron el siguiente orden: $\text{NaCl} > \text{MgCl}_2 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3$. Por su parte las sales CaSO_4 y $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ fueron determinadas en poca concentración debido a que precipitan en condiciones de elevada concentración salina, tal y como lo señala González *et al.* 1985 y Sánchez-Bernal *et al.* 2012.

La condición química de estos suelos en la cual predominan los iones $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$ en una relación > 2.5 son propias de una salinidad clorhídrica (Kovda, 1977) caracterizada por inducir intensos efectos osmóticos a los que se han adaptado algunas especies halófitas como el Mangle (Hopkins, 1995).

La distribución vegetal de acuerdo a los gradientes salinos presenta heterogeneidad que depende entre otros factores de la geomorfología del lugar, de la condición textural del suelo, del drenaje natural, así como del grado de perturbación de la cubierta vegetal. Por ejemplo, en los monolitos edáficos números dos, cuatro, quince y seis localizados en la margen noreste y noroeste de la laguna, se registraron los menores valores de concentración salina (en promedio 2.19 g L^{-1}), esto se atribuye a que en esa parte de la laguna, la solución salina es diluida por las aguas de arroyadas intermitentes, que en estiaje descargan en esas márgenes. También se debe a un menor encharcamiento del agua por adecuado drenaje proveniente de una condición textural areno migajonosa (Tabla XV).

En las inmediaciones de la parte central de la cubeta lacustre se monitorearon manchones salinos con CE de 6.46 a 8.77 dS m^{-1} (equivalentes a concentraciones de 4.13 a 5.61 g L^{-1} , respectivamente). El incremento salino se debe a que las aguas de la laguna se tornan lenticas por lo que ocurre una reconcentración de

sales por evaporación excesiva, no obstante, cierto efecto de dilución se presenta por la combinación con aguas dulces de los arroyos de descarga. La mayor concentración salina se registró en la parte central de la Laguna, con CE del orden de 10.59 dS m^{-1} a 36.60 dS m^{-1} , valores que se atribuyen a la intensa evaporación que ocurre en este sector central y que origina una reconcentración de sales. En esta zona, la fragmentación de la vegetación y la denudación del suelo son evidentes, por lo que guardan estrecha relación con una alta incidencia de la radiación solar y la evaporación del agua del suelo.

La menor concentración salina con intervalos de CE del orden de 1.82 dS^{-1} a 4.54 dS^{-1} , se registró en la parte oeste de la cubeta lacustre, donde está presente el área regenerativa de sucesión vegetal (acahuales), caracterizada por la existencia de árboles de crecimiento secundario. En esta zona, la disminución de la evaporación y de reconcentración de sales, se debe a que el proceso de sabanización (aridización y salinización secundaria del suelo) se aminora por una mayor presencia de cubierta vegetal, cuyo dosel foliar y estructura proporcionan protección al suelo contra la incidencia de los rayos solares y el posterior ascenso de la solución salina por capilaridad (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a).

La distribución señalada guarda estrecha relación con la capacidad de tolerar la salinidad de cada una de estas especies, lo que origina zonas de sucesión o colonización vegetal. Por ejemplo (*R. mangle*) tolera una concentración de hasta 45 g L^{-1} de sales, por lo que se clasifica como una halófito facultativa (Hopkins 1995). Se arraiga en suelos blandos con mayor periodo de inundación, flujo de agua y estabiliza el sustrato, lo que a su vez permite la colonización de (*L. racemosa*), que tolera una concentración salina similar, pero con una frecuencia de inundación menor a la del mangle rojo. En seguida en los suelos más salinos se establece el mangle negro (*A. germinans*), que tolera hasta 70 g L^{-1} de concentración de sales por lo que se trata de una halófito muy tolerante a sales (Hopkins 1995). Finalmente el mangle que se establece en tierra firme propiamente dicho es el denominado botoncillo (*C. erectus*) que tolera hasta 30 g L^{-1} de concentración salina (Hopkins 1995).

El gradiente salino de más baja concentración en la estación de estiaje guarda relación con una cobertura vegetal amplia (cuya estructura ha recibido pocas modificaciones) y con una condición hidrológica del suelo que se puede considerar como buena, pues la evapotranspiración es menor y la incidencia de la radiación solar es menos intensa, lo que provoca una disminución en la reconcentración de las sales iónicas. En el caso del perfil seis, (conductividad eléctrica 2.68 dS m^{-1}) su baja concentración salina se atribuye al efecto de dilución de la solución del suelo, producido por las corrientes de riadas provenientes de los remanentes de la zona noreste de la laguna que provocan un constante recambio y mezcla de los niveles hídricos, que junto con la posición y pendiente de esta área, arroja como resultado conductividades eléctricas bajas. Lo anterior indica, que la frecuencia de las inundaciones pueden cambiar la biogeoquímica y nivel salino de los suelos y posiblemente la función de los manglares (Loi 2008).

En cambio, las mayores concentraciones salinas en esta estación climática que pertenecen al gradiente salino IV, tienen mucho que ver con el deficiente drenaje del suelo y las diferencias de elevación topográficas, ya que esto afecta la frecuencia de las inundaciones donde se monitorearon estos perfiles edáficos, induciendo cambios en la geoquímica de los suelos que a la postre pueden afectar el desarrollo funcional de los manglares. También, se observó en estos dos sitios una alta reconcentración salina, evidenciada por la presencia de costras salinas que son resultado de la casi nula precipitación pluvial que sucede en esta época del año y por un descenso evidente de los regímenes de aporte hídrico. Es claro que el máximo nivel de salinidad también debe atribuirse a factores antropogénicos, como son la deforestación y la apertura de tierras al cultivo, los cuales provocan la pérdida de cobertura vegetal y, por tanto una mayor incidencia de radiación solar en los suelos y el consecuente aumento de la evaporación, lo que origina la reconcentración de sales en la parte superficial del suelo, fenómeno que ha sido estudiado a detalle por Sánchez-Bernal *et al.* (2012-a).

En general la distribución de gradientes salinos en la laguna “La Salina” presenta una tendencia a reconcentrarse en la zona central. Por su parte el nivel de los

gradientes salinos tiende a disminuir hacia las zonas marginales de la cubeta lacustre, lo que se puede explicar desde el punto de vista abiótico, en función de que el suelo está menos expuesto a una evaporación excesiva por efecto de una mayor cobertura vegetal, aunado a una dilución efectiva de las aguas marginales de la laguna por corrientes de arroyada intermitentes. Así mismo, se debe considerar el factor halófito del Mangle, pues se trata de una especie adaptada fisiológicamente a absorber y regular la salinidad del medio, que posteriormente esta misma excreta en forma de fitolitos (FitzPatrick 1984). Por tanto se puede señalar que en las áreas de mayor vegetación de mangle la salinidad es controlada por el biotopo, gracias a su mecanismo de adaptación al estrés salino.

La presencia de gradientes salinos interanuales es resultado de la distribución de diversas concentraciones electrolíticas en las que predomina la sal NaCl, de componente constante en los suelos del área de estudio. Se reconocen tres niveles de gradientes salinos de acuerdo a sus valores de CE obtenidos en laboratorio, cuyos valores guardan estrecha relación con la variación de humedad interanual; es decir, de altos niveles salinos en condiciones de estiaje (bajos índices de precipitación pluvial, disminución del nivel freático, aumento de la evapotranspiración y reconcentración de la solución iónica del suelo), y por otra parte, una disminución de la salinidad en estación de humedad inducida por el agua que ingresa a la solución del suelo, aumento del nivel freático y descenso de la evapotranspiración. Lo cual provoca un efecto de disolución iónica que atenúa el impacto salino; es decir, en el área de estudio se presenta una periodicidad del factor abiótico salinidad con diferentes niveles salinos que influyen en la biodistribución de las especies de mangle (*C. erectus*, *A. germinans* y *L. racemosa*) y en sus periodos de crecimiento.

Como resultado de la influencia de la periodicidad interanual humedad–estiaje, se presenta un cambio en los niveles de gradientes, que influye en la disolución y reconcentración salina del cuerpo de agua lagunar, de tal modo que las condiciones de anegamiento por propiedades físicas del suelo derivadas de un deficiente drenaje natural son los mayores factores que delimitan la zonación y

sucesión de estos gradientes salinos, que a su vez influyen en el establecimiento de la vegetación en la laguna. Lo anterior guarda estrecha relación con las observaciones hechas por Strogonov (1964) sobre el comportamiento de organismos vegetales sometidos a estrés ambiental.

Lo hasta aquí descrito guarda consistencia con las observaciones de campo de la presente investigación, ya que los diversos recorridos transversales prospectivos, permitieron identificar una secuencia del biotopo mangle, creciendo sobre los sedimentos de la Laguna, identificándose a las especies botoncillo (*C. erectus*), mangle negro (*A. germinans*) y blanco (*L. racemosa*), como predominantes en esta sucesión, donde destaca por amplia distribución la especie botoncillo (*Conocarpus erectus*), en los alrededores de la laguna. El resto está ocupado por mangle negro y blanco, distribuidos en manchones intermitentes a lo largo de la laguna. Esta distribución salina, presenta heterogeneidad que depende entre otros factores de la geomorfología del lugar, de la condición textural del suelo, del drenaje natural, así como del grado de perturbación de la cubierta vegetal.

8.2. Vegetación

En el estudio se observó que los valores de CE se incrementan en la época de estiaje debido a los siguientes factores: 1) el ascenso capilar de agua freática mineralizada y recargada con sales provenientes de la intrusión de aguas marinas que penetran tierra adentro durante esta época, 2) la escasez de agua de lluvia durante la estación seca, y 3) la excesiva evapotranspiración debida al incremento de la temperatura de los suelos con escasa cobertura vegetal. Así, los elementos que tienen efectos pronunciados sobre el nicho ecológico en la estructura vegetal de las halófitas del área de estudio, incluyen factores como la concentración de la salinidad, la periodicidad del anegamiento hídrico y el antagonismo iónico por predominio de determinadas especies químicas (reconcentración salina), lo que origina desbalance nutricional y efectos tóxicos en las halófitas durante la época de estiaje (Rozema 1996). Al respecto hay que considerar que el azolve sedimentario, los cambios en el nivel hidrológico y el clima semiseco en el área de

estudio, son las causas principales que estimulan la hipersalinidad del agua y del suelo, y su consecuente efecto negativo en las comunidades de mangle.

El fenómeno contrario se presenta en estación de humedad, y tiene sustento en una mejor condición hidrológica de los suelos de la laguna, donde la dilución y disminución de la salinidad, permiten condiciones abióticas que favorecen el crecimiento y desarrollo del manglar.

En lo elemental, la estructura vegetal del manglar de la laguna “La Salina” y su vegetación adyacente, están altamente relacionadas con el régimen hidrológico del lugar; es decir, abundancia de vegetación en estación de humedad y disminución de la densidad vegetal en época de estiaje, donde el factor salinidad es más intenso. Esto coincide con los factores hidro-edáficos que contribuyen a salinidades altas en los suelos, estrés y bajo potencial hídrico, así como al desbalance iónico nutrimental que provocan la dormancia de la estructura vegetal, reflejada en un escaso desarrollo estructural de algunas especies de mangle, lo cual se observó en los recorridos prospectivos hechos en el área de estudio. La variación de salinidad de estos suelos está determinada por el aporte de aguas de arroyada, el régimen de precipitación, los niveles de evapotranspiración y los cambios en los flujos de marea. Aunado a lo anterior, el resultado de la reconcentración de la salinidad y el tipo de iones que predominan en solución que en lo fundamental es a base de iones Na^+ y Cl^- , provocan fenómenos tales como sodificación de los suelos por altos valores de porcentaje de sodio intercambiable, pero también toxicidad excesiva con efectos pronunciados sobre la fisiología del manglar.

En relación a la salinidad del suelo como factor de distribución del biotopo y los patrones de distribución de las especies de mangle en el área de estudio, como su densidad arbórea, se reconoce que las condiciones edáficas, climáticas e hídricas imperantes en la laguna, determinan en gran medida estos atributos ecológicos. En el área de estudio, se identificaron tres especies de mangle *L. racemosa*, *A. germinans* y *C. erectus*, cuya distribución y desarrollo de la estructura vegetal guardan relación con los gradientes salinos establecidos. Las diferentes especies

de mangle ahí existentes presentan una bio-distribución en banda, en íntima asociación con los gradientes salinos. La afinidad de una determinada especie de mangle con un patrón salino específico se debe a que cada especie posee mecanismos particulares de adaptación al estrés hídrico-salino, que les permiten desarrollarse en un hábitat halomórfico. Por ejemplo, la especie *L. racemosa* posee neumatóforos para poder sobrevivir en ambientes anegados y salinos. Al respecto Day *et al.* (2013) señalaron que la adaptación de una especie vegetal a las condiciones naturales de su entorno, tienen que ver con su capacidad genética para sobrevivir al medio e interactuar con los factores climáticos, de relieve y edáficos, que en conjunto determinan la zonación o frontera espacial de distribución de la especie. Este comportamiento es congruente con las observaciones de Strogonov (1964), quien indicó que a elevados niveles salinos en la solución del suelo, se inhibe el crecimiento de muchas plantas incluidas las halófitas como es el caso del mangle.

Lo anterior evidencia que los árboles de mangle tienen un mejor desarrollo en condiciones de baja salinidad, lo que guarda correspondencia con aquellas zonas que han sido poco alteradas por el hombre y donde el biotopo manglar presenta individuos de mayor edad en comparación a los arraigados en otros gradientes. Esto indica que se trata de áreas con una condición ecológica más estable. En esta zona el bajo nivel salino tiene explicación en la mejor condición hidrológica del suelo, pero también en la reducción de la incidencia directa de los rayos solares a cargo de una mayor densidad de cobertura vegetal en condición regular derivada de una menor alteración antrópica, todo lo cual disminuye el estrés salino del mangle y otras asociaciones vegetales (Acahual). En síntesis los menores niveles salinos, localizados en el gradiente Nivel I, permiten el desarrollo de una mejor arquitectura del paisaje manglar, lo que está vinculado a una mayor producción de biomasa vegetal (Sánchez *et al.* 2012) y a un mayor potencial biológico que conlleva biodiversidad.

Por su parte en el gradiente II, la perturbación antropogénica junto con las concentraciones salinas, determinan un estado de labilidad sobre las

características estructurales del mangle; aunque existan evidencias de adaptabilidad y crecimiento vegetal a pesar de las modificaciones inducidas dentro de este hábitat. La vegetación manglar de esta zona gradualmente tenderá a extinguirse si no se detiene el proceso de salinización secundaria, ya que la deforestación, fragmentación del manglar y sus asociaciones vegetales provocadas por las actividades antropogénicas, podrían incrementar las concentraciones salinas, más allá del umbral de tolerancia del sistema manglar. Así, se distingue una alta disgregación en la manera como se distribuyen estas asociaciones mixtas que comparten estructuras vegetales similares y, una tendencia a establecerse en porciones de la laguna donde los flujos hídricos son lentos y las concentraciones salinas en promedio son del orden de 17.83 dS m^{-1} ; las cuales de acuerdo a (Hopkins 1995) son idóneas para el establecimiento de *L. racemosa* principalmente, que es la especie predominante. Es importante hacer notar que en estas zonas se presenta una alta correlación entre incremento de la salinidad y aumento de la fragmentación del manglar.

Precisamente en los manchones identificados con el nivel salino III, la perturbación del manglar por efectos hipersalinos, es evidente en la disminución de la arquitectura del dosel foliar y en una menor altura de los árboles, lo que es indicio de una menor producción de biomasa acompañada de procesos de aridización del ecosistema lagunar.

El gradiente salino IV, que representa el sitio con las mayores concentraciones salinas determinadas (promedio de 57.75 dS m^{-1}), corresponden a zonas que se ubican dentro de la cubeta lacustre y en un punto lateral de una corriente de arroyada que conecta hasta la laguna. A pesar de presentar la más alta salinidad, sus valores promedio de área de copa, no fueron menores al resto de los gradientes (75.01 m^2); ni tampoco el valor promedio de altura (6.75 m.); ya que los valores más bajos de esta biometría se obtuvieron en los gradientes salinos II y III. En esta zona el mangle *A. germinans* tiene predominio total, ya que es la especie que ha tolerado las secuelas de la destrucción del manglar y del incremento del nivel salino lagunar. A pesar de estas discrepancias, está claro por las

observaciones hechas en campo que la presencia de árboles de manglar de *A. germinans* se encuentran dentro de un área que ha sufrido intensa modificación del hábitat al presentarse áreas amplias de suelo desnudo y desprotegido de cubierta vegetal, con amplios parches sin vegetación, sobre todo esto se observa en el punto de muestreo doce (Apéndice 3). Este gradiente no presenta los valores más bajos de estructura vegetal, en relación con los otros gradientes (a pesar de contener las más altas concentraciones de salinidad), pero es evidente la denudación del suelo, con pérdida clara del estrato herbáceo y arbustivo. Esto se atribuye a que *A. germinans* es una euhalófito capaz de tolerar las salinidades más extremas, en este caso superiores a 70 dS m^{-1} . Es decir ha desarrollado mecanismos anatómicos y fisiológicos para tolerar esta hipersalinidad (Hopkins 1995), uno de ellos es su tendencia a crecer como arbusto ante el estrés salino.

Sobre los aspectos estructurales de la vegetación, en lo que corresponde a la estación húmeda (meses de agosto a noviembre 2012), se sigue el orden de tres gradientes según las concentraciones salinas obtenidas en los extractos de saturación en las muestras de suelo. Para tal efecto, el nivel salino I con un valor de CE promedio de (2.50 dS m^{-1}), está asociado a una evaluación biométrica vegetal de cobertura arbórea promedio de (95.18 m^2) y altura promedio de (10.14 m) (Tabla VIII); este gradiente se registró en siete puntos de muestreo localizados a lo largo de la cubeta lacustre con asociaciones mixtas de *L. racemosa* y *C. erectus* pero con poca alteración antrópica e individuos arbóreos maduros con un desarrollo foliar prominente, en este gradiente se obtuvo la mayor altura promedio. También hay que considerar que en este nivel salino es donde se desarrolla adecuadamente la vegetación secundaria (Acahual), que en el área de estudio corresponde a la zonación vegetal menos perturbada y con mayor área de distribución.

En el nivel salino II, cuyo valor de CE promedio es de (8.54 dS m^{-1}), la biométrica de la cobertura vegetal promedio fue de (66.76 m^2) y la altura promedio de (8.42 m). Esta vegetación se distribuye en siete puntos extremos de la laguna, donde las corrientes hídricas se tornan lenticas, aunque durante esta época del año es

cuando las probabilidades de inundación son mayores. Se mantienen las asociaciones de *L. racemosa* y *C. erectus*, pero ahora también con establecimientos de *A. germinans*, especie de mangle que crece en sitios con mayor salinidad.

Por último, el gradiente con mayor concentración salina (36.14 dS m^{-1}) que corresponde al nivel salino III, se integró únicamente por dos puntos de muestreo. En este caso se presentaron valores promedio de (97.64 m^2) de cobertura vegetal y (6.0 m) de altura; sitios que están dentro de la cubeta lacustre con asociaciones de *A. germinans* y *L. racemosa*; cuyo dosel foliar es semejante al desarrollado en condiciones del nivel salino I, pero se observa una clara disminución de la altura. Esto puede explicarse debido al hecho de que en ciertas condiciones la vegetación puede sacrificar su crecimiento en relación a la cobertura foliar en aras de adaptarse mejor y competir con otras especies vegetales en sitios con suelos de concentraciones más elevadas de salinidad (Strogonov,1964). Durante la estación húmeda, las fuentes de abastecimiento hídrico de la laguna provienen del agua de lluvia que cae y de escorrentías de los arroyos y canales que la avenan. Estas, diluyen las concentraciones iónicas y provocan la disminución de la concentración salina de la solución del suelo, como se observa en los valores de CE donde crece y desarrolla el biotopo mangle.

Así, especies como *A. germinans* que viven en sitios muy secos y suelos con potenciales hídricos muy bajos (salinidades altas), están sujetas a presiones selectivas que modifican su estructura. En efecto, la riqueza y abundancia de especies como su distribución espacio-temporal, van a presentar cambios debido a los factores abióticos del hábitat (Fjeldsa 1999, Watson 2003, Magurran 2004, Freudenberger *et al.* 2005, Bojorges 2011).

Con estos elementos se puede concluir que la heterogeneidad del suelo es un factor de distribución de la vegetación y ésta a su vez de la avifauna, relación que ha sido estudiada con minuciosidad por investigadores como Pomara *et al.* (2012), Lee y Rotenberry (2005), García *et al.* (1998), Jayapal *et al.* (2009), quienes aducen que la heterogeneidad espacial de especies vegetales de un bosque, está

dada por la variación en las propiedades edáficas, razón por la cual en el presente trabajo el factor abiótico salinidad debe considerarse como una propiedad intrínseca del suelo que determina la distribución florística y estructural de la vegetación del área de estudio y esta a su vez determina la selección del hábitat por parte de la avifauna.

8.3. Avifauna

La combinación de registro visual, auditivo y utilización de grabaciones, contribuyó para tener un registro representativo de la riqueza de especies que se documentaron en los puntos de conteo (Bojorges 2006).

La riqueza de especies de aves y sus abundancias fueron claramente relacionadas con los gradientes salinos identificados, así como la complejidad de la estructura vegetal. Estas diferencias entre la riqueza y abundancia de especies observadas en campo, pueden atribuirse a cambios locales de cada uno de estos gradientes, debido entre otras causas, a las propiedades edáficas de los sedimentos, que en consecuencia influyen en la vegetación establecida ahí y, su composición florística, pudiendo producir contrastes micro-ambientales dentro del hábitat. A estas mismas conclusiones llegaron las investigaciones de Bohning-Gaese (1997). Esto último, podría determinar condiciones particulares para el intercambio de especies de aves e influir su distribución en respuesta a la calidad del hábitat.

Las diferencias entre la riqueza y abundancia de especies observadas entre las dos estaciones climáticas no difirieron estadísticamente, a pesar de cambios ambientales importantes como: temperatura y humedad; sin embargo, el mayor registro de especies en la estación de estiaje se puede atribuir a la presencia de especies migratorias que utilizan la laguna y los fragmentos de vegetación existentes para refugio, alimentación y obtención de energía para sus migraciones (*Ana discors*, *Actitis macularius*, *Calidris canutus*, *Icteria virens*, *Setophaga petechia*, *Polioptila caerulea*). Lo anterior con base a los antecedentes de Bojorges (2004) puede deberse que a pesar de contener similitudes de diversidad altas

entre estaciones, los microambientes dentro del hábitat, representados en el área de estudio como gradientes salinos, presentan heterogeneidad del hábitat, lo cual es importante para el intercambio de especies. Las aves cambian su distribución en respuesta a las condiciones particulares dentro del ambiente.

En este trabajo, las razones de estas diferencias se pueden encontrar en relación a la escala ecológica que se empleó, esto es apoyado por Cueto (2006), quien encontró que las poblaciones de aves responden de forma diferente en relación a las extensiones territoriales que se tomen en cuenta, y sus características propias ambientales. Si se considera un análisis a escala local o microhábitat, para cuantificar la riqueza de aves, del orden passeriformes (que fue el orden con más especies registradas en este estudio), se asociaron más a la disponibilidad de estratos de vegetación, como a su composición florística que a otros factores locales, tales como el clima. Las diferencias de riqueza y abundancia de aves entre las estaciones climáticas en esta zona de estudio fueron mínimas, sin embargo, si se compara la riqueza y abundancia entre gradientes salinos, existió una mayor discriminación, por el hecho de cada estructura vegetal particular.

En el presente estudio el análisis de la riqueza y abundancia de aves en relación a un gradiente salino en particular indicó, que los valores más altos de riqueza, abundancia y diversidad pertenecen a los sitios de muestreo donde se registraron los valores más bajos de concentración salina, con fuentes hídricas constantes (sobre todo en estación de humedad) y donde la vegetación se encuentra menos perturbada por actividades antropogénicas. Cabe resaltar, que la configuración del hábitat o del micro hábitat dentro de la vegetación, como partes que conforman una escala en ecología de paisaje, puede influir para incrementar o disminuir la diversidad de aves en una comunidad (Cueto 2006). Esto tiene implicaciones para tomar decisiones en conservación y el manejo de fauna.

Por ejemplo, el gradiente salino III asociado a la estación climática de estiaje y el gradiente salino I asociado a la estación climática de humedad, presentaron los valores más altos de diversidad (3.05 y 3.19), respectivamente; mientras que para la estación de humedad los valores más bajos de concentración salina y de un

eventual desarrollo estructural de vegetación, propician condiciones más adecuadas para la presencia y el establecimiento de especies de aves, que se ve reflejado en los índices de diversidad. Hay que considerar también que por las observaciones hechas en campo y los antecedentes de Dyrz (2002); es posible que la abundancia de individuos más alta en este trabajo pertenezca a la familia Tyrannidae, debido a que se identificaron gran número de puntos de anidamiento de especies que pertenecen a esta familia, especialmente desde el mes de abril a junio, justo antes de comenzar la estación de humedad. Esto, según Dyrz (2002) puede ser una adaptación ecológica para coincidir con el suministro de alimentos, ya que las lluvias estimulan el desarrollo vegetal, y a la vez, esto está correlacionado positivamente con el establecimiento de poblaciones de insectos y otros invertebrados, que constituyen más de la mitad de la dieta para especies más abundantes en estos gradientes, como *Tyrannus melancholicus*, *Myiozetetes similis* o *Pitangus sulfuratus*. Es claro, que el mantenimiento de la vegetación original en estos gradientes, también propicia otras fuentes de alimento como producción de frutos, cuyo aumento de biomasa coincide con la época de anidamiento de *Tyrannus melancholicus* por ejemplo, especie que es abundante en estos puntos. No se debe olvidar también que mantener estos parches de vegetación incrementa las posibilidades de éxito en los nidos de esta especie. Así, las discusiones expuestas para estos gradientes del micro hábitat de la zona de estudio, tendrían implicaciones para la conservación de aves silvestres.

Los valores más bajos de diversidad avifaunística, se encontraron en los sitios identificados como gradiente salino IV; para la estación climática de estiaje y en el gradiente salino III para la estación climática de humedad (Tabla X). Estos resultados guardan una estrecha relación con las altas concentraciones salinas determinadas en estos sitios y con casos de desarrollo vegetal limitado y altamente fragmentado, lo cual concuerda con Bojorges (2004), que estableció que la riqueza de especies como la abundancia de individuos decrece a medida que la superficie vegetal disminuye o se modifica. Las especies más abundantes en estos gradientes de alta salinidad, fueron *Columbina inca*, *Quiscalus mexicanus*, *Volatinia jacarina* y *Tyrannus melancholicus*, y aunque aparecieron en

otros gradientes de menor salinidad, tienen la particularidad de adaptarse a paisajes que han sido modificados por actividades humanas, zonas que se tornan áridas debido a pérdida de vegetación, o eventos de urbanización. De manera que los resultados muestran que las características del micro hábitat a pequeña escala pueden determinar la composición de las especies de aves y su abundancia, especialmente si se tiene consideración de la cobertura vegetal, su estructura, altura, y diversidad vegetal (Rotenberry 1985, Karr 1990, William *et al.* 1999, González-Ortega *et al.* 2002).

Con base en lo anterior, se infiere que las especies de aves registradas se pueden asociar a los patrones generales que les ofrecen las características ambientales de los gradientes salinos. Por ejemplo, las abundancias de la avifauna pueden aumentar durante la estación de humedad, principalmente las especies insectívoras, esto debido al rápido y notable incremento de la cobertura vegetal durante esta estación o también al aumento de poblaciones de insectos en las zonas inundadas. Cabe destacar que especies granívoras que consumen las semillas y frutos como *Volatinia jacarina*, es una especie de importancia en esta estación, a pesar del hecho de que hay otras especies granívoras, que prefieren suelos de menor cobertura vegetal, espacios abiertos y por ende que se puedan adaptar más fácilmente a la urbanización, como fue el caso de *Columbina inca* cuyos números aumentaron en la estación de estiaje (William *et al.* 1999, Dyrzc 2002).

Con base en los resultados se comprende que las condiciones hidrológicas y edáficas de cada uno de los gradientes salinos, pueden determinar la distribución vegetal e influir en la distribución y establecimiento de la avifauna. Por ejemplo, los puntos de conteo dos, cuatro, seis y 15; pertenecen al gradiente salino de menor concentración, presentan características edafológicas y de paisaje que propician el adecuado drenaje de las corrientes hídricas, vegetación con un área de copa amplia, que coincide con valores altos en abundancia de individuos de aves, en comparación con otros gradientes salinos. Las diferencias en avifauna estuvieron más fuertemente correlacionadas con las variables de estructura vegetal que con

las diferencias en las propiedades edáficas. Esto es consistente con la expectativa de que las relaciones están determinadas por las interacciones ecológicas que existen entre las especies de aves y la vegetación; cuyas características son las que median la relación entre las propiedades edáficas y la diversidad de aves.

Esto se cumple en las observaciones prospectivas en campo si se considera las más bajas concentraciones salinas identificadas como gradiente salino I en estiaje, en las que se encontró un mejor desarrollo de la arquitectura de mangle que presenta una mayor área de copa, lo cual está relacionado a una mayor biomasa que implica mayor biodiversidad. De tal manera que los más altos valores de riqueza de especies de aves y abundancias de individuos para esta estación climática corresponden precisamente a los puntos de conteo dentro de este gradiente (el más bajo en salinidad). Subsecuentemente la riqueza y abundancia disminuye conforme incrementan los gradientes salinos de la laguna.

Un comportamiento interesante fue el observado en los gradientes salinos II y III para la estación climática de estiaje. Las coberturas promedio de área de copa y altura cuantificadas en los estratos de vegetación, fueron más bajas que los obtenidos en el gradiente IV (el de mayor concentración salina), cuyos valores biométricos fueron considerablemente mayores en relación con los anteriores; esto guarda relación con el comportamiento de las variables avifaunísticas, ya que existe una relación inversa tanto de la riqueza de especies como de la abundancia de individuos en función de los gradientes salinos, así por ejemplo, si se habla del gradiente salino I para estiaje, se registraron 28 especies con 120 individuos, en contraste el gradiente salino IV, registró la riqueza de especies más baja para este ciclo, ya que solamente se identificaron 16 especies y 33 individuos. Las observaciones en campo evidencian que las estructuras arbóreas han sufrido disminuciones en extensión, dejando como resultado amplias zonas de suelo desprotegido de cubierta vegetal, lo cual conlleva una disminución de biodiversidad de aves. Los gradientes salinos I y II (estiaje) y III (humedad), registraron valores intermedios de riqueza y abundancia (Tabla X). Estos patrones se observaron en los índices de diversidad para cada gradiente.

Es un hecho que el gradiente salino I (de menor concentración salina) con estratos arbóreos maduros, expresión foliar más desarrollada y una menor perturbación antrópica, favorece el establecimiento de sitios de percha y recursos alimenticios para un mayor número de especies de aves e incremento de abundancias. Adicionalmente se ha documentado que las comunidades de artrópodos, la calidad y cantidad de frutos, de las especies vegetales dentro de este gradiente, están en última instancia determinadas por los niveles de calidad de los suelos (Pomara *et al.* 2012). Estos hechos demuestran la estrecha asociación trófica de los ambientes tropicales, lo que coincide con los trabajos de (Lee & Rotenberry 2005, Jayapal *et al.* 2009, Pomara *et al.* 2012).

En la estación de humedad, se observó el siguiente comportamiento en la avifauna: El gradiente salino I (el de menor concentración salina), que por observaciones prospectivas hechas en campo, mostró evidencias claras de poca alteración antrópica, mayor desarrollo foliar en sus elementos arbóreos de *L. racemosa*, *C. erectus* y vegetación secundaria, asociados a la presencia de fuentes hídricas intermitentes en la cubeta lacustre. Los valores más altos están asociados con la riqueza de especies, así como de abundancia de individuos y alta diversidad (Tabla X). Con base en estas observaciones, se sugiere que el abastecimiento hídrico temporal, propicia condiciones eco hidrológicas del suelo adecuadas que contribuyen en el mantenimiento de vegetación. Por su parte, en el gradiente salino II; cuyos puntos de conteo de aves se distribuyen dentro de la cubeta lacustre, asociado a la presencia de *L. racemosa*, *C. erectus* y *A. germinans*, este exhibió valores más bajos de riqueza, abundancia y diversidad con respecto a los valores del gradiente I (Tabla X). Aunque los puntos de conteo fueron siete en ambos gradientes, se observó con notoriedad que las especies y los individuos de aves son menores para el nivel salino II. Esto puede tener relación con las opciones y preferencias de forrajeo para las aves y por los recursos ecológicos que proveen estas agrupaciones mixtas de vegetales y recursos hídricos que favorecen la presencia de especies acuáticas. Finalmente el gradiente salino III (el de mayor concentración salina); en el cual a pesar de presentarse una cobertura vegetal, esta es de baja altura; con escaso desarrollo

del dosel foliar por lo que las asociaciones de *A. germinans* y *L. racemosa*, registraron el más bajo índice de riqueza, abundancia y diversidad avifaunística para toda la estación de humedad.

Se presentaron correlaciones no significativas entre las dos estaciones, para la abundancia de individuos ($P=0.219$) y riquezas de especies ($P=0.133$) sin embargo, entre estaciones interanuales, hubo correlaciones significativas. Por ejemplo, en la estación de estiaje las variables de salinidad del suelo, cobertura vegetal, altura y diversidad avifaunística, arrojaron correlaciones significativas positivas entre la riqueza de especies y la abundancia ($P=0.03$); como entre la riqueza y la diversidad ($P=0.001$) (Tabla XI). En contraste se obtuvieron correlaciones negativas significativas entre la variable salinidad del suelo y la variable abundancia de individuos de aves ($P=0.03$) (Tabla XI).

Esto puede entenderse por el hecho que las concentraciones salinas edáficas del suelo determinan o condicionan en más de 50% el crecimiento y desarrollo vegetal, por las causas que se explicaron con antelación. En consecuencia para la comunidad de aves, las abundancias de individuos muestran evidencia de una mayor sensibilidad hacia estas condiciones. De manera que en el presente estudio; el número de individuos, más que la riqueza de especies en sí, se ven disminuidas las abundancias de ejemplares por el efecto del binomio salinidad del suelo-vegetación. Se encontró que la calidad de suelos (particularmente la salinidad) efectivamente influye en las características estructurales de la vegetación al limitar o disminuir su desarrollo, lo cual se refleja en disminuciones de altura, considerando también las agrupaciones vegetales y las especies que se encuentren sin embargo, esta asociación puede influir negativamente en la selección, uso de hábitat y la preferencia de establecimiento de individuos que conforman a las especies de aves. Estos resultados coinciden con los encontrados por MacArthur (1964), Wilson (1974) & Rodríguez-Estrella *et al.* (1996). Debido a estas consideraciones, los resultados del presente trabajo, evidencian que hay diferencia de la abundancia de individuos avifaunísticos en función del gradiente

salino; así, a mayor gradiente salino corresponde una menor abundancia de especies de aves y viceversa (Tabla X).

9. INTERPRETACIÓN DE LAS CORRELACIONES CANONICAS

En la estación húmeda, la correlación canónica que presentó el mayor grado de asociación con 0.835 es la que relaciona la variable canónica AVIFAUNA (riqueza, abundancia, diversidad) con la variable canónica AMBIENTAL (salinidad, vegetación). Las otras correlaciones canónicas presentan valores menores y no son significativas ($P > 0.05$); de tal manera que solo se considera la primera correlación canónica (Tabla XVI).

Es así que la variable canónica AMBIENTAL tiene un efecto positivo por parte de la concentración salina del suelo, cuyo valor es (0.416); sin embargo, hay influencias negativas en relación a la altura arbórea y la cobertura vegetal, con valores de (-0.993 y -0.678) respectivamente (Tabla XVII).

La variable canónica AVIFAUNA estuvo influenciada de forma negativa, principalmente por la abundancia de individuos (-0.892) y también por la riqueza de especies (-0.514), mientras que el índice de diversidad tiene muy poca influencia sobre esta variable canónica, cuyo valor es (0.063) (Tabla XVIII).

Las correlaciones cruzadas entre las variable canónica AMBIENTAL y la variable AVIFAUNA, muestran que tanto la cobertura vegetal como la altura arbórea influyen de forma positiva tanto en la abundancia de individuos como en la riqueza de especies, mientras que la salinidad tiene un efecto negativo mínimo hacia la abundancia (Tabla XIX). La altura arbórea muestra una mayor incidencia que la cobertura vegetal sobre la riqueza y sus individuos. En cuanto a la diversidad, esta se vio afectada en forma mínima y negativa por la altura, en contraste su comportamiento fue positivo por la influencia de la altura y por la salinidad.

Esto quiere decir, que los aspectos que integran la avifauna en la laguna “La Salina”, la abundancia de individuos es más afectada por factores ambientales, y de estos, la altura arbórea es la que tiene una mayor influencia en determinar las

abundancias de avifauna, seguido por la cobertura de la vegetación. De aquí se deriva que si estos factores aumentan o registran mayor peso, tendrán por tanto, una influencia positiva primero sobre la abundancia y después hacia la riqueza de especies de aves. La salinidad tuvo un efecto negativo sobre la abundancia sin embargo, su efecto fue menor sobre otros factores como la riqueza y diversidad. Tal vez esto se debe al hecho de que las concentraciones salinas se abaten en gran medida en la estación climática húmeda, que coincide con la temporada de fuertes lluvias sin embargo; se tienen evidencias que la vegetación por las características estructurales que pueda presentar, es determinante para la conservación y establecimiento de especies de aves.

En las Tablas XX y XXI, se observan las correlaciones cruzadas por separado tanto de la variable canónica AMBIENTAL como la variable canónica AVIFAUNA. Estos resultados muestran que la concentración salina de los suelos tiene un efecto negativo mucho mayor que el identificado para la cobertura arbórea (-0.408 y -0.0249), respectivamente. El fenómeno da evidencia que las características edafológicas como las topográficas pueden influir en el proceso de desarrollo vegetal de las especies presentes en el área de estudio. De acuerdo con los valores obtenidos para la diversidad de aves, se observa que hay un efecto negativo de la riqueza de aves (-0.408), en contraste de un efecto positivo por parte de las abundancias de individuos (0.601). Esto indica que el índice de diversidad en el área de estudio es determinado principalmente por el número de individuos y sus proporciones; sin embargo, cambios que sean perceptibles en la riqueza de especies tendrán consecuencias que pueden ser determinantes en el índice de diversidad. En la Tabla XXII, de acuerdo con los resultados del análisis de redundancia, la variable canónica AMBIENTAL explica 45.85 % de la varianza de las consideradas dentro de la variable canónica AVIFAUNA, lo que quiere decir que las medidas de diversidad biológica como la de aves se ven condicionadas en 45.85% por factores abióticos como la salinidad y la estructura vegetal.

10. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN PARA LA AVIFAUNA

La conservación de la biodiversidad de aves en la laguna “La Salina”, que es parte de la Sociedad Cooperativa el Santuario de la tortuga La Escobilla; requiere necesariamente que el manejo se lleve a nivel de paisaje. Esto significa que, en el área de estudio se observó que los patrones de la riqueza de especies y sus abundancias obedecen a las características específicas del microhábitat representados en este caso por los gradientes salinos. El proceso que se busca aminorar es el de la hipersalinidad en alguno de estos gradientes, ya que se reconoce que los déficits de agua dulce, la baja precipitación en la estación de estiaje, alta evapotranspiración y los bajos aportes de escorrentía, provocan la concentración mayor de sales. En estas condiciones el desarrollo de la vegetación de sucesión secundaria como de mangle se ve limitado. Por ello es necesario, coadyuvar a la mitigación de estos fenómenos mediante prácticas de restauración de la calidad de los suelos, reduciendo la erosión del mismo mediante el control y remoción de sedimentos, uso de fajas forestales y construcción de canales hidráulicos o avenidas construidas de manera artificial para la captura del agua y su almacenamiento, para posteriormente poder disminuir las concentraciones salinas. Estas actividades junto a la sucesión natural de las comunidades vegetales, con restauración donde sea posible, incentivarán el regreso y repoblamiento de las aves silvestres a más altos valores de diversidad que los cuantificados hasta ahora. Estas iniciativas de conservación que buscan incrementar los índices de diversidad de aves en los sitios donde se llevaron a cabo los muestreos y en el área en general, requiere de un manejo de suelos y de la vegetación existente todavía, considerándolo a nivel de paisaje ya que la abundancia, diversidad y configuración espacial de esta cubierta vegetal, determinarán la presencia de avifauna.

Los sitios alrededor de la laguna que han sido identificados como gradiente salino III para la estación de humedad y gradientes salinos III y IV para la estación de estiaje, considerados con mayores problemas de salinidad en los suelos, pueden mejorar su calidad y disminuir concentraciones salinas altas mediante el incentivo

de prácticas hidráulicas que propicien el incremento y afluencia constante de fuentes hídricas, de baja concentración, lo cual ayudara a disminuir la reconcentración de sales en la parte superficial del suelo, junto a un monitoreo continuo y de análisis de muestras para comprobar que efectivamente hay evidencias de una disminución de estas concentraciones salinas, con lo que se mejora la calidad de los suelos.

Lo importante y esencial es realizar prácticas de cambio de uso de suelo, como incrementar la cantidad, diversidad y conectividad de la cubierta vegetal, que en lo fundamental puedan enriquecer la diversidad de aves en paisajes o áreas sujetas a presiones antrópicas. El establecimiento y manejo de diversas formas de asociaciones vegetales, incrementarán la heterogeneidad del hábitat y recursos para las aves residentes y migratorias. Para la zona de estudio, esto se puede alcanzar mediante el uso de métodos como la agroforestería; que pueden proveer hábitats de mejor calidad mediante la conservación de formas lineales de estratos vegetales tales como las franjas riverieñas o las cercas vivas con las asociaciones de mangle, que incrementen la conectividad entre el micro hábitat y posibiliten el intercambio de diversidad de aves, funcionando como corredores biológicos dentro de los paisajes agroforestales. Así, los fragmentos de vegetación ya sea de mangle o de tipo secundario en la zona de estudio, se podrán encontrar insertados dentro de una matriz de mejor calidad que promueva el movimiento de las poblaciones de aves silvestres. Esto será importante para proteger a la avifauna y los beneficios que esta provee, los sistemas agroforestales son especialmente útiles en zonas de amortiguamiento que están cercanas a las áreas protegidas, como el santuario en playa de la tortuga golfina localizadas en la zona de estudio.

En conclusión de lo expuesto, al restaurar las áreas de los gradientes más salinos para mejorar la calidad de sus suelos, evitar en estos puntos una pérdida mayor de cubierta vegetal, se incentivara el mantenimiento de la regeneración natural. Se espera entonces, un aumento de la colonización de estos espacios abiertos y degradados por especies de aves de mayor abundancia de individuos que deberá ser superior al actual, donde predominen primero: las aves granívoras o las

especies especialistas en pastizales o herbazales, y posteriormente exista la recolonización de mayor número de especies que sean insectívoras, frugívoras y nectarívoras. Facilitar segmentos de vegetación que tengan diferentes etapas de regeneración natural, y tamaños variables que puede coadyuvar a la supervivencia de la avifauna en la zona de estudio. En este sentido, la creación de sistemas agroforestales por medio de la restauración de los hábitats agrícolas degradados, ayudaría a promover y mantener la recuperación de la biodiversidad. Aunado a esto, los sistemas pueden incrementar fuentes importantes de ingresos económicos para la población local.

Estudios cuidadosos (Zhijun *et al.* 2010, Ysebaert *et al.* 2000), han demostrado que las áreas naturales fragmentadas que estén sometidas a explotaciones agrícolas, si se trabajan con un buen tratamiento de conservación de suelos y vegetación, pueden elevar la diversidad de aves y fauna silvestre. Estas poblaciones pueden ser provechosas en el combate de especies invasoras, o como uso cinegético. Así pues, se debe tener muy presente que el laboreo del suelo para su conservación no solo produce biodiversidad, sino que también depende de ella de muchos modos.

En consecuencia, existe una relación de actividades aprobadas por la experiencia, que se pueden sugerir para conectarlas con las prácticas de conservación de avifauna y su hábitat dentro del área de estudio, tales como:

1.- Manejo del hábitat de modo que se atiendan las necesidades de la avifauna, tales como espacios adecuados para anidar, forrajear, protección y otros elementos de fauna silvestre, ya que las especies necesitan fuentes adecuadas de alimento, un lugar donde alojarse y recursos hídricos.

2.- Establecer bordos en canales de desagüe, de los sitios donde hay mayores concentraciones salinas, ya que generalmente contienen agua y a menudo hay alimento asequible en áreas continuas. Si se protegen las orillas con vegetación, no solo se mantiene el canal en mejor estado, sino que se proporciona también abrigo para las aves silvestres.

3.- Considerar el establecimiento de hileras de cercados de arbustos, ya que estos pueden ofrecer los mejores lugares para la fauna silvestre y en particular para la avifauna.

4.- El cuidado de la laguna y el manejo de los terrenos marginales sin utilizar, especialmente los sitios donde se requiere control de erosión, y el abastecimiento de agua hacia la laguna, por escurrimientos superficiales. Es muy importante que la tierra donde se producen tales escurrimientos este protegida contra la erosión, para impedir que la laguna se llene de material arrastrado del suelo (Sánchez-Bernal *et al.* 2012-a). Lo anterior puede ayudar para implantar bordes de piedra de contorno para la fauna silvestre con el fin de contener la erosión alrededor de la laguna, y poder darles un uso a estas estrechas fajas de tierra.

5.- Estos linderos o fajas de tierra, se pueden establecer en forma de surcos, en lugares donde el suelo de labranza colinda con la tierra arbolada de vegetación de mangle. También es adecuado establecer hileras protectoras de árboles o cortinas cortavientos a lo largo de corrientes de agua, zanjas, canales y caminos rurales.

6.- Con estas recomendaciones estos linderos beneficiarán a la vida silvestre, al proporcionar alimento o refugio; o ambas. Este refugio como linderos formados de vegetación, pueden ayudar a que se establezcan poblaciones de aves silvestres, en especial del orden paseriforme ya que su principal función es de dar alimento asequible y dar abrigo para que las aves aniden.

7.- Las márgenes de las corrientes de esta laguna, tendrán que estar protegidas para impedir que se desmoronen y deslaven, proteger los fondos colindantes y disminuir la carga de limo. Esto también mejorara condiciones en beneficio de las aves acuáticas, que fueron considerables en número de especies en el estudio, debido a que le proporciona alimento, abrigo y agua en estrecha relación, asimismo mejora el curso hídrico por lo que respecta a poblaciones de peces, que son el alimento importante de estas aves (Semarnat 2009).

8.- Se recomienda la agricultura con rotación de cultivos en lugar de monocultivo, ya que proveen materiales y alimentos de mejor calidad, esto proveerá hábitats

con mayor biodiversidad, que incrementen las poblaciones de especies depredadoras para proteger a los cultivos contra brotes de plagas o especies polinizadoras importantes. Esto incentivará el repoblamiento de aves silvestres.

9.- Actividades que reduzcan la erosión, lo cual ayudará a capturar y almacenar fuentes de agua de baja concentración salina para ser utilizadas en disminuir las altas salinidades que se observan en los gradientes III y IV. Estos espacios de paisaje conservados así, podrían mejorar la diversidad de aves y ser posteriormente atractivos para obtener ganancias económicas mediante el ecoturismo. Es necesario que se evite el azolvamiento de la laguna “La Salina” durante la estación húmeda, ya que durante esta, las riadas arrastran grandes cantidades de sedimentos de las partes altas y deforestadas de la comunidad de Escobilla, lo que ocasiona el azolvamiento de toda la depresión lagunar aguas abajo. Por tanto, la conservación de la laguna dentro de la zona de los manglares proveerá suficiente agua para la vida silvestre, alimento y protección para la avifauna (Semarnat 2009).

Esta investigación aporta evidencias que ciertos factores abióticos, como las concentraciones de sales en los suelos y sus efectos en las especies vegetales así como en su desarrollo, influyen en la diversidad de aves, especialmente en la abundancia de individuos a escalas de micro hábitat, expresadas en este trabajo como gradientes salinos. Lo cual tiene importancia para la conservación de la avifauna terrestre en la zona de estudio, que presenta procesos acelerados de salinización y de pérdida de cubierta vegetal, que finalmente incide en la avifauna. Por tanto, la comprensión de cuáles son los requerimientos de hábitat (factores bióticos y abióticos) que requiere la avifauna, ayudara a dar recomendaciones para apoyar planes de manejo en la laguna “La Salina”.

11. PRÁCTICAS Y ESCENARIOS PARA EL MANEJO DE LA ZONA DE MANGLAR Y SU AVIFAUNA EN LA LAGUNA “LA SALINA” ESCOBILLA, OAXACA

Para llevar a cabo un manejo adecuado del hábitat y su avifauna en la laguna “La Salina”, que forma parte de la Cooperativa de Escobilla, Tonameca, Oaxaca, se necesita conocer la problemática específica que enfrenta este lugar. En el contexto de la presente investigación, el diagnóstico demostró que los diferentes gradientes de salinidad afectan e inhiben el crecimiento y desarrollo de la estructura vegetal, y esto influye en los patrones de abundancia de aves silvestres.

Las causas de estos hechos se deben primero, a las observaciones prospectivas realizadas en campo, al reconocer cambios en los patrones hidrológicos del ecosistema de la laguna, resultado del azolvamiento de los dos afluentes de arroyos que conectan a la laguna en su parte oriental y a la existencia de caminos rurales que cortan el flujo hidrológico, lo que provoca la disminución del aporte de agua dulce y posteriormente retención de sedimentos.

El desmonte de la cobertura vegetal y la acumulación de basura que se observó al realizar los recorridos prospectivos en campo, en los puntos de muestreo de los gradientes más salinos, constató que posiblemente las actividades humanas coadyuvaron a la degradación de los sedimentos y posteriormente a los cambios de vegetación identificados, por ejemplo, en los puntos de muestreo (ocho y 12), pertenecientes al gradiente salino IV, mostró claras evidencias de costras salinas en los suelos (especialmente en estación de estiaje) y poco desarrollo del estrato vegetal. Otros puntos de muestro que presentaron altos niveles de salinidad, que pertenecen al gradiente III (cinco y nueve), se observó, que presentan evidencias de desmonte y apertura de veredas entre los estratos arbóreos de mangle, que durante el ciclo (humedad-estiaje) existe un contacto más constante y continuo con el flujo hídrico de la laguna a lo largo del año. Los puntos de muestreo siete, cuatro, dos y tres; cambiaron mucho durante el periodo de muestreo en sus niveles de concentraciones salinas, por la evidencia de los análisis de laboratorio realizados, donde el factor más evidente en estos sitios son las altas fluctuaciones

de nivel de agua y corrientes entre las dos estaciones climáticas con respecto a la posición de los estratos arbóreos (observación personal).

Estas evidencias, junto con una disminución de la presencia de avifauna (sobre todo de la abundancia de individuos) al considerar los puntos de muestreo dos, tres, cuatro, cinco, siete, ocho, nueve y 12; que pertenecen a gradientes de mayor salinidad, indican la necesidad de revertir la degradación de las áreas de manglar que todavía quedan alrededor de la laguna y su vegetación adyacente. Bajo este esquema de entendimiento, se requiere conservar, proteger y recuperar los suelos y sus asociaciones vegetales para facilitar una futura recolonización de poblaciones de aves silvestres.

Lo primero que se recomienda para mejorar la calidad del hábitat, es la restauración hidrológica de la laguna con las siguientes acciones:

1.- Se necesita delimitar, a través de una serie de recorridos de campo, los canales y venas de flujo hídrico en los dos arroyos del límite oriental de la laguna, uno que tiene su trayectoria de flujo cerca de la agencia municipal, y el otro tiene un flujo perpendicular al camino rural que se dirige a la playa. Lo anterior con el fin de detectar diferentes áreas sujetas a azolvamiento. Se ha identificado que en estos dos arroyos existe material vegetal muerto y basura, que obstaculiza o disminuyen las corrientes de flujo hídrico, que son primordiales para disminuir los niveles de salinidad en la cubeta lacustre (especialmente en la estación de humedad).

2.- Se recomienda cortar y triturar la materia vegetal muerta, además de retirarlos de los cuerpos de agua, después, hacer limpieza de residuos sólidos y remoción del material acumulado por azolvamiento para posteriormente, utilizarlos en incrementar el nivel micro topográfico en los gradientes más salinos, y finalmente mejorar el perfil topográfico.

Estas acciones ayudarán a dar un soporte mejor al sustrato para posibles establecimientos de plántulas de mangle y con el adecuado flujo de corrientes hacia la laguna, se podrá mejorar los niveles de agua en especial en los puntos

que pertenecen a los gradientes III y IV, por estar considerados en la trayectoria de las corrientes de estos dos arroyos y, donde ya se reconoce que hay fuertes problemas de salinidad.

3.- Es importante realizar el desazolve del material que se encuentra en los canales que conducen de forma natural agua derivada de las riadas hacia laguna. Con esto se buscará rehabilitar aproximadamente los 500 m de vena principal que interconecta con el sistema lagunar. A su vez se puede sugerir en esta zona construir un borde de madera (50 m largo x 0.10 m ancho x 0.75 profundidad) y tela sintética, por ejemplo de polietileno; para inducir la acumulación de sedimento y evitar la entrada de agua marina.

4.- Otras actividades que pretenden incrementar sustancialmente el volumen de agua dulce en los puntos que pertenecen a los gradientes III y IV, como más salinos, es con la construcción de alcantarillas, que se pueden colocar estratégicamente en sitios donde se observa que se interrumpen la libre circulación de escurrimientos superficiales de agua en estos puntos. La función principal de estas alcantarillas es reducir el nivel de salinidad de los suelos, y se pueden construir con la adquisición de tubos de pvc de 90 cm de diámetro.

5.- Otra estrategia que se puede usar para facilitar el establecimiento de plántulas de mangle en los puntos de estos gradientes es mejorar los niveles topográficos, al inducir acreciones artificiales de sedimentos con ayuda de alguna barrera (malla geotextil), para construir pequeñas plataformas hechas de materiales de relleno, que pueden provenir de los dragados que se han realizado en la laguna para desazolvar. Esto ayudaría o propiciaría la sedimentación de limos y arcillas para aumentar las probabilidades de éxito en la reforestación, sin olvidar la formación de canales en las márgenes de las plataformas para permitir la entrada de las mareas y reducir la salinidad, sobre todo en los puntos cinco, siete, ocho, nueve y 12, para mejorar condiciones del establecimiento de los manglares.

Con estas actividades se busca la rehabilitación hidrológica de aproximadamente 22 ha, cuya restauración se realizaría durante los meses de estiaje, cuando la

vegetación de manglar está siendo menos afectada por las mareas, aportes y escorrentías de agua dulce. Así, durante la estación de humedad, el flujo hídrico pueda penetrar en los sitios de muestreo más fácilmente, y producir un efecto de lavado en los suelos, aumentar el potencial redox del mismo, y disminuir la salinidad con un mayor tiempo de residencia del agua (Agraz-Hernández *et al.* 2010, Flores *et al.* 2007).

Después de efectuar las actividades de restauración hidrológica, lo que se recomienda es la reforestación. Principalmente en los sitios que pertenecen a los gradientes más salinos, esto para regenerar hasta donde sea posible las condiciones anteriores de vegetación. La reforestación se puede realizar directamente con el uso de propágulos o plántulas, y con plántulas de vivero o con la combinación de ambas acciones. Es factible y con mejores resultados si se realiza en la estación húmeda, debido a que en esa estación es cuando ocurre la mayor sobrevivencia de plántulas de mangle.

Para la identificación de áreas susceptibles a reforestar se debe realizar la detección de bajos de mareas en donde se efectuaron los muestreos. Por ejemplo, los sitios que se recomienda sean considerados como prioritarios para este caso, son los puntos de muestreo uno, dos, tres, cuatro, ocho, 12 y 13; ya que observaciones hechas en campo, indican que las fluctuaciones de marea son evidentes en estos puntos, lo que guardan relación con espacios de mangle degradados, especialmente en los puntos tres, cuatro, cinco, siete, 12 y 13.

La reforestación debe ser seriamente considerada aquí para mejorar la calidad del hábitat en terrenos de la cooperativa de “La Escobilla”. Las especies fundamentalmente serán mangle negro (*Avicennia germinans*) y de mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), cuyos propágulos se desarrollarán para su crecimiento en viveros rústicos que se instalarán en los terrenos de la cooperativa, donde exista disponibilidad de agua, un terreno amplio y de fácil acceso. Al establecer estos viveros se busca facilitar la producción de plántulas que tengan características homogéneas de vigor y salud.

Se recomienda construir un vivero con capacidad de producción de 2000 a 3000 plantas para reforestar. Los costos estimados para la construcción del vivero, pueden variar de \$4000 a \$5000 pesos, que dependerá de la disponibilidad de agua para riego, infraestructura sanitaria y acceso a semilla. Estos viveros se fabricarán con material de la zona, como madera y techo de hojas de palma; con la finalidad de reducir el costo, y proteger estos viveros con alambre de púas y postes de madera.

También se sugiere adquirir mesas para sostener las charolas donde irán los propágulos. Estas charolas pueden ser de polietileno, de color negro, para que el sistema radicular no se afecte por los rayos solares. Se pueden usar unas 30-40 charolas con 50 propágulos, en dimensiones de 50 cm de largo por 30 cm de ancho y un volumen de 230 mL, con guías internas, las cuales sirven para dirigir el sistema radicular hacia abajo. El sedimento que se recomienda usar según Agraz-Hernández *et al* (2010), es agrolita, vermiculita, biofungicida tricolor y endomicorriza junto con suelo limo arcilloso del lugar.

Para disminuir la evapotranspiración en la primera fase de vida de los propágulos se recomienda establecer una malla-sombra con 60–70 % luz a 1.5 m de altura durante el primer mes. También es posible instalar tela de mosquitero a los costados del vivero para evitar la entrada de plagas. El sistema de riego que se puede usar es el de micro aspersión, dispuesto al centro de las mesas para cubrir la totalidad de las plántulas y que puede estar alimentado por el pozo de agua dulce que utiliza la cooperativa. El riego se recomienda realizarse dos veces por día y las plántulas pueden permanecer cuatro meses (Agraz-Hernández *et al.* 1999; 2001). Los primeros tres meses se riega con agua dulce para el acondicionamiento de las plántulas y después se recomienda usar agua estuarina, para incrementar la salinidad paulatinamente hasta acercarse a la salinidad de los puntos donde se busca hacer la rehabilitación.

Importante es esta pre-adaptación a las condiciones similares al sitio donde se piensa sembrar (en particular a la salinidad), para garantizar una mayor sobrevivencia. Con el fin de establecer el éxito de la calidad y producción de

plántulas se puede determinar el crecimiento y mortalidad, cada 15 ó 20 días. Esto con el fin de que los propágulos y plántulas en áreas de acopio o vivero, tengan mayores posibilidades de éxito de sobrevivencia para su posterior uso en la reforestación.

Las plantas procedentes de trasplante de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* serán seleccionadas al tener una altura de 40 cm, llevadas a los sitios a restaurar, en los puntos de muestreo que pertenecen a los gradientes II, III y IV, esto se realizará durante los últimos días del mes de Octubre, cuando esté finalizando la estación lluviosa. Se recomienda un espaciado de 1.50 m entre plántula y plántula, donde cada mes se efectuará la evaluación de la mortalidad vegetal y posteriormente durante seis meses se observará el periodo de adaptación y efecto de trasplante de las plántulas de vivero. También se recomienda hacer estos trasplantes a lo largo del perímetro de la laguna donde se observe condiciones adecuadas en la micro topografía y que tengan contacto con la línea de marea. Los costos de reforestación varían en función de los métodos utilizados, así como el valor de la mano de obra local en los puntos a restaurar. El presupuesto para un trabajo de reforestación en las 22 hectáreas de la zona, tiene un costo aproximado entre \$ 14000 y \$ 22000 pesos para una posible cantidad de 2000-3000 propágulos/ha. En general la tasa de crecimiento en el primer año será lenta comparada con los dos años posteriores. Estas actividades tienen la ventaja que generaran empleos temporales para los miembros de la cooperativa como parte de sus tareas de ecoturismo.

También se tiene que realizar la restauración hidrológica en las zonas donde se realizó la reforestación, mediante la apertura de canales principales de unos 2 m de ancho aproximadamente y 1 m de profundidad, con canales secundarios adyacentes de menor ancho y profundidad. Por tanto, la restauración de humedales de agua dulce al igual que los manglares, requiere de un conocimiento básico del hidropериodo y lamicro topografía del humedal, en particular. El conocimiento de la micro topografía de los humedales va permitir determinar las áreas potenciales para restauración, y posibilitar la ampliación de las áreas

vegetales, sobre todo en los puntos pertenecientes al gradiente III y IV, se puede medir la micro topografía con teodolito. Es importante hacer hincapié que para tener éxito en estas acciones de reforestación vegetal en los gradientes más salinos, es relevante tener niveles topográficos óptimos (acreción natural) para establecer las plantaciones inducidas. Así, se recomienda en los gradientes más salinos, buscar estabilizar los sedimentos con dragados o acreción artificial y construir pequeños canales de penetración desde una vena de mareas con menor salinidad, para disminuir esta con un mayor recambio de agua. La construcción de canales de pequeñas dimensiones o la revitalización hidráulica del manglar, favorecerá su restauración y reforestación inducida, ya que las áreas de los gradientes III y IV, han sido perturbadas por asolvamiento intenso (Agraz-Hernández *et al.* 2010).

Los gradientes salinos identificados, están condicionados por la topografía, la textura del suelo y la profundidad del manto freático, lo cual a su vez influye en la salinidad del propio manto y establecimiento del mangle. Por tanto, para restaurar un parche de estos gradientes, es necesario conocer la microtopografía de cada gradiente y sus cambios de salinidad intersticial, e ir mejorando el funcionamiento hidrológico para recuperar las entradas y salidas de agua, con construcción de diques. Se requiere modificar el patrón hidrológico para disminuir la salinidad, facilitar la sucesión vegetal (con apoyo de reforestación), crear espacios de cobertura vegetal, que mejoren gradualmente la calidad del hábitat para cubrir los requerimientos ecológicos de avifauna y aumenten su abundancia. Acciones de enriquecimiento ambiental como la instalación de nidos artificiales en los puntos que sea pertinente, de los gradientes III y IV, ayudarían a propiciar condiciones de nuevos espacios para las aves. Se trata de emular en lo posible, los patrones ecológicos que fueron anteriores a la degradación de la vegetación de la laguna y sus alrededores, y proveer más espacios de anidación, alimentación o refugio para la avifauna (DUMAC 2005).

Finalmente, se recomienda el monitoreo continuo de las poblaciones de aves silvestres donde se han realizado las modificaciones de mejora del hábitat, que

sirvan de herramienta esencial en obtener información sobre datos de abundancia poblacional, para que sean usados en diseñar modelos predictivos de tendencias y que sean útiles para acciones de manejo de fauna particulares. El éxito de la restauración de las condiciones actuales en los gradientes identificados como más salinos, será a largo plazo, a varios años, depende directamente de la restauración como del manejo de la hidrología de forma adecuada y de reforestación; para que con estas acciones, se logre conservar la mayor cantidad posible de parches de mangle entre los campos cultivados de la laguna y sus bordes de arroyos en beneficio de mantener en el tiempo la riqueza ornitológica. (DUMAC 2005). Con estas líneas de acción sobre la restauración vegetal y rehabilitación de los cuerpos de agua, se espera que se incremente la riqueza de especies de aves y continúen con sus ciclos biológicos, y que junto con la conservación del hábitat se amplíen las actividades ecoturísticas en la laguna “La Salina”, de la comunidad Escobilla, Tonameca, Oaxaca. Estas iniciativas de conservación y restauración serán promovidas y llevadas a cabo por parte de la Sociedad Cooperativa de las Tortugas Escobilla S.C. de R.L. con apoyo institucional del sector público, con instituciones gubernamentales como la CONANP, PROFEPA, SEMARNAT o instituciones educativas y de investigación como la UMAR, sin olvidar que es posible involucrar al sector privado.

Tabla XIV. Secuencia de acciones programadas (con apoyo institucional o privado) para la restauración hidrológica y reforestación de la laguna “La Salina”, de la cooperativa Escobilla, Tonameca, Oax.

ACTIVIDAD	ACCION	COSTO APROXIMADO M.N.
Permanente	Instalación de vivero rústico para producir 3000 plantas de mangle negro y mangle botoncillo, para un año.	\$ 5 000.00
Permanente	Restauración hidrológica con la limpieza de canales, el desazolve apertura de las venas de flujo y construcción de compuerta para el control de los niveles de agua de la laguna. Importante establecer el hidoperiodo y fijar los días de inundación en la laguna.	\$ 5 000.00
Permanente	Riego y monitoreo de sobrevivencia de plántulas en el vivero.	\$ 5 000.00
Ocasional	Motobomba para riego de plántula en vivero	\$10 000.00

Ocasional	Recolección y llenado de bolsa calibre 400 de color negro humo de 20 x 10 x 30 cm. Para producir 3 000 plántulas de mangle con tres jornales diarios por 30 días.	\$10 000.00
Ocasional	Desazolve de entrada del flujo de agua a la laguna y de la salida de agua de la laguna. También a su vez se debe llevar la misma actividad en las diferentes venas de flujo. Se pueden considerar tres jornales diarios por 15 días.	\$ 9 000.00
Permanente	Construcción de diques de unos 20.0 cm de altura, paralelos a las curvas de nivel cada 3.0 m, en las áreas que se han designado para la plantación de plántulas de mangle.	\$ 10 000.00
Permanente	Reforestación con plántulas se debe realizar con un espaciado de 1.50 m entre plántula y plántula, con las especies de <i>Conocarpus erectus</i> y <i>Avicennia germinans</i> , con una evaluación de mortalidad de plántulas cada mes.	\$ 22.000.00
Permanente continuo	Monitoreo continuo de las aves silvestres en los puntos donde se efectuaron los muestreos, con la finalidad de obtener información sobre posibles cambios en abundancia y riqueza.	
Permanente continuo	Constatación que las medidas adoptadas de reforestación y restauración hidrológica han sido las adecuadas para mejorar la calidad del hábitat y diversidad de aves.	

Nota: Los precios son aproximados a la fecha actual y pueden variar.

12. CONCLUSIONES

El crecimiento y desarrollo del biotopo Mangle de la laguna “La Salina”, es afectado por la distribución heterogénea de niveles salinos del sustrato edáfico, ello determina diferencias de cobertura vegetal muy marcadas en la estación húmeda y de estiaje que influyen en la distribución y diversidad de las especies avifaunísticas de este bioma vegetal.

En la presente investigación las variables riqueza y diversidad de aves no son afectadas por el factor abiótico salinidad y por la cobertura vegetal; sin embargo, estos factores sí afectan en forma adversa la abundancia de especies de aves. El fenómeno tiene explicación en la menor producción de biomasa y cambios en su estructura en condiciones salinas, lo que influye en los requerimientos ecológicos de las especies de aves del biotopo.

Con estos antecedentes, se recomienda la instalación de un vivero rustico, para producir especies de mangle que, junto con la restauración hidráulica, el desazolve de los canales hídricos importantes dentro de la laguna, y el posterior establecimiento de plántulas en los gradientes más salinos, se esperará la mejoría de las propiedades físicas del suelo, que inciden en una mejor permeabilidad como de conductividad hidráulica y por consiguiente se podrá esperar una disminución de la salinidad. Es importante el monitoreo continuo de las aves silvestres en los puntos donde se efectuaron las prácticas de reforestación, restauración hidrológica y edafológica, con la finalidad de obtener información sobre posibles cambios en diversidad y observar de qué forma están respondiendo la avifauna a estas prácticas de manejo del hábitat.

La necesidad de mejorar las propiedades físico químicas del suelo y la cobertura vegetal, son factores que se deben considerar en la mejora de las condiciones ambientales dentro de los alrededores de la laguna “La Salina” de Escobilla, Oaxaca, para coadyuvar la mejoría de los requerimientos ecológicos en la comunidad avifaunística.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Aceves, N.E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 382 pp.
- Agraz-H.C.M. 1999. Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de México. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 133 pp.
- Agraz-H.C.M., F. Flores V. & O.C.M. 2001. Impacto de la camaronicultura en ecosistemas de manglar y medidas de mitigación. pp: 372-393. In: Páez-Osuna F. (ed.), Camaronicultura y medio ambiente. PUAL, ICMYL-UNAM y El Colegio de Sinaloa, México.
- Agraz-H.C.M., J. Osti S., C. García Z., C. Chan K., E. Chan C., R. Arana L. & M. Torcuato H. 2010. Estrategias de Restauración de Ecosistemas de Manglar en México. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. 21(2):30.
- Alcaraz, F., M. Clemente, J.A. Barrena & J. Álvarez Rogel (eds.).1999. Manual de teoría y práctica de Geobotánica. ICE Universidad de Murcia. Murcia. Disponible en: www.um.es/docencia/geobotanica.pdf.
- Amador, E., R. Mendoza S.R. & J.A. de Anda–Montañez 2006. Estructura de la avifauna durante el periodo invierno–primavera en el Estero Rancho Bueno, Baja California Sur, México. Revista mexicana de biodiversidad.77:(2): 251-259.
- Amancio-Rosas, G. 2007. Relaciones entre la estructura del hábitat y la biodiversidad de aves en dos sitios en la reserva de la Biosfera La Michilia. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. CIDIR Durango.80 pp.

- Ambrosio C.Y. 2011. Diversidad de la avifauna acuática de la cuenca baja del río verde, Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar. Oaxaca, México.
- American Ornithologist Union. 2010. Lista de especies de aves de Norteamérica. Disponible en: <http://www.aou.org/aou/birdlist.html>.
- Athearn, N.D., J.Y. Takekawa, J.D. Bluso-Demers, J.M. Shinn, L. Arriana Brand, W. Caitlin, R. Nilsen & C.M. Strong 2012. "Limnology and Aquatic Birds: Monitoring, Modelling and Management" *Hydrobiology* 697:139-155.
- Ayers, R. & D.W. Westcot 1987. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. FAO. Rome. Rev. 1.172 p.
- Becerril-Morales, F.1999. Caracterización de la avifauna en los sistemas lagunares Chacahua-Pastoría y Corralero-Alotengo, Oaxaca, México. Informe técnico científico. SIBEJ-CONACYT (RMNA-005/96)-UMAR. Instituto de Ecología. Universidad del Mar.
- Blanco, D.E. 1998. Uso de hábitat por tres especies de aves playeras (*Pluvialis dominica*, *limosa haemastica* y *Calidris fuscicollis*) en relación con la marea en Punta Rasa, Argentina. *Revista Chilena Historia Natural* 71:87-94.
- Bohning-Gaese, K. 1997. Determinants of avian species richness at different spatial scales. *Journal of Biogeography*. 24:49-60.
- Bojorges, B. J.C. 2004. Riqueza y Diversidad de especies de aves en una selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, México. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.
- Bojorges, B. J.C., L. López-Mata, L.A. Tarango-Arámbula, J.G. Herrera-Haro G.D.& Mendoza-Martínez 2006. Combinación de métodos de muestreo para

registrar la riqueza de especies de aves en ecosistemas tropicales. Universidad y Ciencia. 22(2):111-118.

Bojorges, B. J.C. & L. López-Mata. 2006. Asociación de la riqueza y diversidad de especies de aves y estructura de la vegetación en una selva mediana subperenifolia en el centro de Veracruz, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 77:235-249.

Bojorges, B. J.C. 2011. 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.

Camacho F.L.P. 2007. Composición y estructura de un ensamblaje de aves asociado al ecosistema de manglar de Isla Fuerte, Caribe Colombiano. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Colombia. 91 pp.

Carbonell, R. & J.L. Tellería 1998. Selección y uso de hábitat por cinco poblaciones Ibéricas de Curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*). Ardeola 45:1-10.

Castillo J.A. & R. Carmona 2001. Distribución de aves acuáticas y rapaces en un embalse dulceacuícola artificial de Baja California Sur, México. Revista de Biología Tropical 49:3-4.

Chaves-Fonnegra, A., M Fiorenzano, A. M. Pantaleón-Lizarazu, D. F. Rodríguez-Gacha, A. Franco-Herrera & M. López-Victoria 2005. Aves de un manglar en PNN Tayrona, Caribe Colombiano. Boletín (SAO) 15(1): 3-12.

Cintrón, G. & Y. Schaeffer-Novelli. 1985. Características y desarrollo estructural de los manglares del Norte y Sur América. Ciencia Interamericana 25:4-15.

Cintrón, G., A.E. Lugo, J.P. Douglas & G. Morris 1978. Mangrove of Arid Environment in Puerto Rico and Adjacent Island. Biotropica 10 (2): 110-121.

- Coffey, B.B. & L.C. Coffey. 1989. Songs of Mexican birds. Cassette. ARA Records, Gainesville, Florida.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado en octubre 2012. www.conabio.com.gob.mx
- Cueto, V.R. 2006. Escalas en Ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. *Hornero* 21:1-13.
- Day, J.W., B.C. Crump, W.M. Kemp & A.Y. Arancibia. 2013. *Estuarine Ecology*. 2a ed., edition. Wiley-Blackwell. Singapur. 537 pp.
- Díaz, I.A. & J.J. Armesto. 2003. La conservación de las aves silvestres en ambientes urbanos de Santiago. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA* 19 (2): 31-38.
- Ducks Unlimited de México, A.C. (DUMAC) 2005. Programa de conservación y manejo para las aves playeras en el lago de Texcoco, Estado de México, México. 107 pp.
- Dyrz, A. 2002. Breeding Ecology of the social (*Myzetetes similis*) and Rusty-margined (*M. cayanensis*) Flycatchers at Barro Colorado island, Republic of Panama. *Ornitología Neotropical* 13:143-151.
- Edwards, E.P. 1998. A field guide to the birds of Mexico and adjacent areas: Belize, Guatemala, El Salvador, 3a. ed. University of Texas Press. 209 pp.
- FitzPatrick, E. 1984. Soils: Their formation, classification and distribution. CECSA. México, D.F., 430 pp.
- Fjeldsa, J. 1999. The impact of human forest disturbance on the endemic avifauna of the Udzunga mountains, Tanzania. *Bird Conservation International* 9 47-62.

- Flores-Verdugo F., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz-Hernández, H. López-Rosas, D.Benítez-Pardo & A.C. Travieso-Bello. 2007. La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín Sociedad Botánica Mexicana* 80:33-47.
- Food & Agriculture Organization of the United Nations. 2004. Informe de la Consulta de Expertos sobre la Interacción entre las Tortugas Marinas & las Pesquerías en un Contexto Eco sistémico. Roma, Italia, In: Informe de Pesca. No. 738. p 40.
- Freudenberger, D., E.M. Watson & R.J. Whittaker 2005. Bird community responses to habitat fragmentation: how consistent are they across landscapes. *Journal of Biogeography* 32:1353-1370.
- García, S., D.M. Finch & L.G. Chávez 1998. Patterns of forest use and endemism in resident bird communities of north-central Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* 110:151-171.
- Golley, F.B., H.T. Odum & R.F. Wilson 1962. The structure and metabolims of a Puerto Rican red mangrove forest in May. *Bulletin Marine Science* 1:34-62.
- Gómez de S.H., A. González G. & M.P. Casillas-Trejo. 1999. Birds up upper cloud forest of el Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitología neotropical* 10:1-26.
- Gómez de S.H. & R. Medellín. 2001. Evaluating completeness of species list for conservation and macroecology: case-study of Mexican land birds. *Conservation Biology*. 15:1384-1395.
- González, R del C., M. Ortega, C. Ramírez & J.L. Rone 1985. Establecimiento de relaciones funcionales entre láminas de lavado de sales desplazadas y sales residuales en suelos salinos. *Agrociencia* 59:131-147.

- González-Ortega, A., M.A. Martín & G.J. Cartas. 2002. Ocurrencia, distribución y abundancia del género *Passerina* en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas. *Acta Zoológica mexicana* 75:125-142.
- Hsing. J.L, Kwang T.S, Wen L.C., Can J.W.M., Hwey L.H., Wen L.W., L.L. Severinghaus & Yu T.W. 2003. Biotic communities of freshwater marshes and mangroves in relation to saltwater incursions: implications for wetlands regulations. *Biodiversity and Conservation* 12:647-665.
- Hernández, V.S. 2005. Aves acuáticas de la Laguna de Agua Dulce y el Estero el Ermitaño, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical* 53:229-238.
- Hopkins, G.W. 1995. *Introduction to Plant Physiology*. (eds.) John Wiley and Sons. Inc. New York, USA. 326-327pp.
- Howell, S.N.G. & S. Webb 1995. *A guide to the birds of Mexico and northern Central America*. Oxford University Press, New York. 851 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2005. *Anuario estadístico del Estado de Oaxaca*. México. (ed.) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 175 pp.
- Jayapal, R., Q. Qureshi & R. Chellan. 2009. Importance of forest structure versus floristics to composition of avian assemblages in tropical deciduous forest of Central Highlands, India. *For. Ecol. Manage* 257: 2287-2295.
- Karr, J.R. 1990. *Birds of tropical rainforest: comparative biogeography and ecology*. In: A. Keast (ed.). *Biogeography and ecology of forest bird communities*. SPB Academic, The Hague, The Netherlands. 215-228 pp.
- Kaufman, K. 2005. *Guía de campo de las aves de Norteamérica*. Houghton Mifflin, New York. 391 pp.

- Kovda, V.A. 1973. Chemistry of Saline and Alkali soils of Arid Zone. In: Irrigation, Drainage and Salinity. An International Source Book. FAO/UNESCO.122-204 pp.
- Kovda, V.A. 1977. Arid land irrigation and soil fertility. Problems of salinity, alkalinity and compaction in Arid land irrigation in developing countries: environmental problems and effects. (E.B. Wothington, Ed.). Pergamon Press, Oxford, UK.211-236 pp.
- Lee, P.Y. & J.T. Rotenberry. 2005. Relationships between birds species and tree species assemblages in forested habitats of eastern North America. J. Biogeography 32:139-191.
- Loi T.L. 2008. Effect of Hydrology on the Structure and Function of Mangrove Ecosystems In The Can Gio Mangrove Biosphere Reserve, Vietnam. Degree Doctor of Philosophy (Ph.D.). Louisiana State University.US.A. 224 pp.
- López, R.E. 1993. Geología general de México. 7a ed., Trillas México. 288 pp.
- Maas, E.V. & G.J. Hoffman 1977. "Crop Salt Tolerance-Current Assessment. Journal Irrigation and Drainage Division.103 (IR2):115-134.
- Mass, E.V. 1987. "Salt tolerance of plants" Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie, Ed. CRC Press INC. Vol (2): 57-75.
- Maas, E.V. 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji K.K. (ed.). Agricultural Salinity Assessment and Management. Chapter 13. ASCE. Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71. Published By American Society of Civil Engineers. New York. U.S.A. 262-304 pp.
- MacArthur, R.H. 1964. Environmental factors affecting birds species diversity. American Naturalist 98:387-397.

- Macedo M., L.A. Krul & V. dos Santos-Moraes 2007. Mangrove bird community of Paranaguá Bay-Parana, Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 50(1):75-83.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science. 256 pp.
- Martínez-Martínez, B.Z. & G.F. Cupul-Magaña 2002. Listado actualizado de aves acuáticas de la desembocadura del Rio Ameca, Bahía de Banderas, México. *Revista de Divulgación de Investigación Científica de la Universidad de Guadalajara*. 2(1):85-92.
- Meléndez, H.A. & G.S. Binnquist 1997. Avifauna de los humedales costeros de Chiapas y Oaxaca. *Ciencia y Mar*. 1 (3):45–52.
- Mellink, E., J. Luevano & I. Zuria. 1998. Nota sobre los pelecaniformes, ciconiiformes, gallitos marinos (Scolopacidae) y rayadores (Rynchopidae) de la costa chica de Oaxaca, México. *Ciencias Marinas* 24(4):367-388.
- Mellink, E. & G. de la Riva 2005. Non-breeding water birds at Laguna de Cucutlan and its associated wetlands, Colima, Mexico. *Journal of Field Ornithology* 76(2):158-167.
- Méndez R.I., D. Namihira, A. Moreno & C. Sosa. 1986. El protocolo de investigación, lineamientos para su elaboración y análisis. Editorial Trillas, México. p. 210.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics* 35(1):25-33.
- Montasi, T. & C. Busso 2004. *Métodos de estudio de vegetación. Guías prácticas de trabajos de Ecología*. Universidad Nacional del Sur, Argentina. 60 pp.
- Moreno, L. & R. Álvarez 2003. Fauna asociada a los manglares y otros humedales en el delta estuario del río Magdalena, Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias* 27(105) 517-534.

- Muller-Dombois, D. & H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley. New York. 574 pp.
- Naranjo, L.G. 1997. A note on the birds of the Colombian Pacific mangroves, 64-70 pp. In Kejerve, B., L.D. de Lacerda & E.H.S. Diop (eds), Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa. United Nations educational scientific and cultural organization, Paris. Francia.
- National Geographic. 1999. Field guide to the birds of North America. 3a ed. National Geographic Society, Washington, D.C. 480 pp.
- Navarro, S.A.G., E.A. García-Trejo & A.T. Peterson. 2004. Aves. 391-421 pp. In García-Mendoza, A.J., M.J. Ordoñez & M. Briones-Salas (eds), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Found, México.
- Ortiz-Pulido, R., F. González García & A. Álvarez. 1995. Avifauna del centro de investigaciones costeras la Mancha, Veracruz, México. Acta Zoológica Mexicana 66:87-118.
- Oster, J.D. & W. Schroer 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. Soil Science Society American Journal 43:444-447.
- Palacios, M.S. & C.J. Gama 1994. Soils, genesis, dynamics and degradation. 178-202 pp. In: De la Cruz, R. S. (ed.) Earth Science Today. Fondo de Cultura Económica, México.
- PAST software. 2001. Copyright Hammer and Harper 1999-2013. Paleontological Museum, University of Oslo, Norway.
- Poljakoff-Mayber, A. 1975. Morphological and anatomical changes in plants as a Response to Salinity Stress. Plants in Saline Environments. Ecological Studies. Springer Berlin H.15:97-117 pp.

- Poljakoff-Mayber, A. & R.H. Lerner. 1994. Plants in saline environments. 65-96 pp. In: Handbook of Plant and Crop Stress. Pessaraki, A. (ed). University of Arizona. M. Dekker, Inc.
- Pollak, G. & Y. Waisel. 1970. Salt secretion in *Aeluropus litoralis* (Willd). *Annals of Botany* 34:879-888.
- Pomara, L. Y., K. Ruokolainen H., Tuomisto & K.R. Young. 2012. Avian Composition Co-varies with Floristic Composition and Soil Nutrient Concentration in Amazonian Upland Forest. *Biotropica* 44(4):545-553.
- Ramamoorthy, T.P. 1998. Diversidad biológica de México. Orígenes y Distribución. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México 792 pp.
- Restrepo, I. 2010. Manglares y la cumbre del clima. Nota de opinión. La Jornada lunes 8 de noviembre de 2010.
- Richards, L.A. 1985. Diagnosis and rehabilitation of saline soils and sodics. Salinity Laboratory. USDA, Manual 60. Limusa, México. 172 pp.
- Rico G.V. & M. Palacios 1996. Salinidad y el nivel del agua como factores en la distribución de la vegetación en la ciénaga del NW de Campeche, México. *Acta Botánica Mexicana* 34:53-61.
- Rodríguez-Estrella, R., L. León de la Luz., A. Breceda, A. Castellanos, J. Cansino & J. Llinas. 1996. Status, density and habitat relationships of endemic terrestrial birds of Socorro Island, Revillagigedo Island, México. *Biological Conservation* 76:195-202.
- Rotenberry, J.T. 1985. The role of habitat in avian community composition: physiognomy or floristics. *Oecologia* 67:213-217.
- Rozema, J. 1996. Biology of Halophytes.17-30 pp. In: Halophytes and Biosaline Agriculture. Choukr-Allah, C.V. (eds). Marcel Dekker INC. New York.

- Ruiz B.T. 2011. Análisis de la diversidad y composición de la comunidad avifaunística en la Laguna Costera La Ventanilla-Tonameca. Oaxaca. México. Tesis Maestría en Ciencias. Ecología Marina. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Oaxaca, México.
- Ruiz C.A., T.J. Montemayor, H.M. Fortis, R.J. Olague & G.J. Villagómez. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Técnica Pecuaria en México* 45:19-24.
- Sánchez-Bernal E.I. 2003. Emergencia de brotes de tubérculos y acumulación de biomasa de plantas de Papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. ALPHA, en condiciones de estrés inducido por diversas soluciones salinas. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo. Estado de México, México.
- Sánchez-Bernal E.I., H.M. Ortega., G.T. Sandoval O., R.A. Hernández V. & C. Estrada. 2012 a. Lavado de sales en suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales tratadas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 28:4343-360.
- Sánchez-Bernal E.I., M. Camacho-Escobar., A. Rodríguez-León & H.M. Ortega-Escobar 2012 b. Characterization of soils affected by salts in irrigation district 110 "Río Verde", Oaxaca México. *African Journal of Agricultural Research* 7:(6)943-957.
- Sánchez-Bernal E.I., Ortega-Baranda V., Domínguez-Hernández F., Ortega-Escobar M., Can-Chulim A.& Sarmiento-Bustos D. 2013. Soil erosion control using agroforestry terraces in San Pedro Mixtepec, Oaxaca, México. *International Journal of AgriScience*. 3(5):423-439.
- Sánchez-Bernal E.I., G. Sandoval-Orozco., M.A. Camacho Escobar., F. Valdez Martínez., A. Rodríguez León& H.M. Ortega Escobar 2014. Calidad

hidrogeoquímica de las aguas del río Copalita, Oaxaca, México. *Revista Internacional de Ciencia y Sociedad*. 1:(2)27-41.

SAS. 2010. Institute. SAS/STAT User's Guide, version 8. Cary, North Carolina.

Schimtz, M.F., F.D. Pineda, E. López, A. Rescia & P.A. Aguilera. 1999. Humedales almerienses: Importancia, problemática y gestión. 61-47 pp. In, Pulido, A., Calaforra J.M., Pulido P. (eds.). *Problemática de la gestión del agua en regiones semiáridas*. Colección actas 42. Instituto de estudios almerienses. Almería.

Sebastián G.E., J.A. Sánchez-Zapata & F. Botella. 2010. Agricultural pond as alternative habitat for water birds: spatial and temporal patterns of abundance and management strategies. *European Journal of Wildlife Research* 56:1:11-20.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana 2002. NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* 31 de diciembre de 2002.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009. Dirección general de vida silvestre. Plan de Manejo tipo para el manejo, conservación y aprovechamiento sustentable de aves acuáticas y playeras. 36 pp.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-59-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. *Diario oficial de la Federación*. Publicado 30 de diciembre del 2010.

Sodhi N.S. & K.G. Smith. 2007. Conservation of tropical birds: mission possible? *Journal of Ornithology* 148(2):305-309.

- Soto R. & L.F. Corrales. 1987. Variación de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. *Revista de Biología Tropical* 35(2):245-256.
- Soto, R. & J.A. Jiménez. 1982. Análisis fisonómico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 30: 161-168.
- Soule, M.E. 1986. *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts. 584 pp.
- Statistica 7.0. 2004. Copyright Stat Soft. Inc. 1984-2004. Tulsa, OK, 74104. USA
- Strogonov, B.P. 1964. *Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity)*. Academy of Sciences. Moscow USRR. Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem, Israel. 279 pp.
- Szabolcs, I. 1994. Soil and water salinization and desertification. pp 85-94. In: *Proceedings of the IV Conference on Desert Development (1993)*. 25 to 30 July, 1993. Postgraduates College, Montecillo, México.
- Takekawa, J.Y., A.K. Miles, D.H. Schoellhamer, N.D. Athearn, W.D. Saiki., W.D. Duffy, S. Kleninschmidt, G.G. Shellenbarger & C.A. Jannusch. 2006. Trophic structure and avian communities across a salinity gradient in evaporation ponds of the San Francisco Bay estuary. *Limnology and Aquatic Birds Developments in Hydrobiology* 189(4):307-327.
- Takekawa, J.Y., A.K. Miles, D.C. Tsao-Melcer, D.H. Schoellhamer & S. Fregien 2009. Dietary flexibility in three representative water birds across salinity and depth gradients in salt ponds of San Francisco Bay. *Hydrobiology, Salt Lake Research: Biodiversity and Conservation*. 626:115-168 pp.

- Terborgh, J., S.K. Robinson, T.A. Parker III, C.A. Munn & N. Piermont. 1990. Structure and Organization of an Amazonian Forest Bird Community. *Ecological Monographs* 60(2):13-23.
- Tomilson, P.B. 1986. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University. Press. Cambridge, England. 413 pp.
- Troeh R.F. & G.R. Palmer. 1980. *Introducción a la ciencia del suelo. Manual de Laboratorio*. Editor, México. 158 pp.
- Van Den Berg C. 1973. *Water and Salt Balances. Irrigation, Drainage and Salinity. An International Source Book*. FAO/UNESCO. Great Britain. 510 pp.
- Watson, D.M. 2003. The standardized search: An improved way to conduct bird surveys. *Austral Ecology* 28: (5):515-525.
- Weller, M.W. & C.E. Spatcher. 1965. Role of habitat in the distribution and abundance of marsh birds. Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station, Special Report 43. Ames, USA.
- William, R.C., R.A. Schmitz & R. Todd 1999. Site Selection and Nest Success of Ring-Necked Pheasants as a Function of Location in Iowa Landscapes. *The Journal of Wildlife Management* 63(3):976-989.
- Wilson, M.F. 1974. Avian community organization and habitat structure. *Ecology* 55:1029-1107.
- Ysebaert T., P.L. Meininger, P. Meire, K. Devos, C.M. Berrevoets, R.C.W. Strucker & E. Kuijken. 2000. Water bird communities along the estuarine salinity gradient of the Schelde estuary, NW-Europe. *Biodiversity and Conservation* 9(9): 1275-1296.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey. 663 pp.

Zarate-Obando, B.E. Palacios & H. Reyes-Bonilla. 2007. Estructura de la comunidad y asociación de las aves acuáticas con la heterogeneidad espacial del complejo lagunar Bahía Magdalena Almejas, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 56 (1):371-389.

Zhijun M., Yinting C., Bo L.& Jiakuan C. 2010. Managing Wetland Habitats for Water birds: An International Perspective. *Society of Wetland Scientists*30(1):15-27.

Apéndice 1. Gradientes salinos identificados para la estación de humedad, con respectivos puntos de muestreo señalados en rojo.



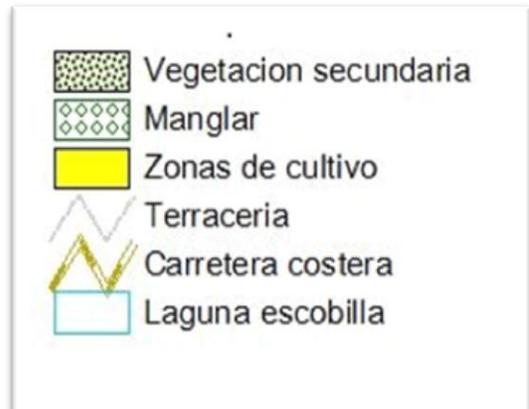
Gradiente I



Gradiente II



Gradiente III



Continuación:

Apéndice 1. Gradientes salinos identificados para la estación de Estiaje, con respectivos puntos de muestreo señalados en rojo.



Gradiente I



Gradiente II



Gradiente III



Gradiente IV



Apéndice 2. Especies de aves registradas en laguna “La Salina” Escobilla, Santa María Tonameca, Oaxaca, México.

La nomenclatura sistemática empleada es en base a la Unión de Ornitólogos Americanos (AOU 2013). Estacionalidad: Re=Residente, M=Migratoria. Abundancia: C=Común, NC=no común, Ra=Rara, En=Endémica de la costa.

Orden	Familia	Especie	Hum.	Est.	En	A	En	CITES	NOM	IUCN
Anseriformes										
Anatidae										
		<i>Ana discors</i>	*	*	M	Ra				Pm
Galliformes										
Cracidae										
		<i>Ortalis poliocephala</i>		*	Re	C	*			Pm
Ciconiiformes										
Ciconiidae										
		<i>Mycteria americana</i>	*		M	Ra			Pr	Pm
Suliformes										
Anhingidae										
		<i>Anhinga anhinga</i>	*	*	Re	Nc				Pm
Fregatidae										
		<i>Fregata magnificens</i>		*	M	Ra				Pm
Phalacrocoracidae										
		<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	*	*	Re	C				Pm
Pelecaniformes										
Ardeidae										
		<i>Butorides virescens</i>	*	*	Re	C				Pm
		<i>Ardea alba</i>	*	*	Re	C				Pm
		<i>Egretta thula</i>	*	*	Re	Ra		III		Pm
		<i>Nyctanassa violacea</i>	*		Re	Ra				Pm
		<i>Egretta tricolor</i>	*		Re	Ra				Pm
		<i>Bubulcus ibis</i>		*	Re	C			Pr	Pm
		<i>Tigrisoma mexicanum</i>	*		Re	Ra				Pm
Threskiornithidae										
		<i>Platalea ajaja</i>		*	M	Ra				Pm
Accipitriformes										
Cathartidae										
		<i>Coragyps atratus</i>	*	*	Re	C				Pm
		<i>Cathartes aura</i>	*		Re	Ra				Pm
Accipitridae										
		<i>Buteo magnirostris</i>	*	*	Re	Ra				Pm
		<i>Buteo gallus anthracinus</i>	*		Re	Ra				Pm
Gruiformes										
Rallidae										
		<i>Fulica americana</i>		*	M	Nc				Pm

Continuación										
Orden	Familia	Especie	Hum.	Est.	E	A	En	CITES	NOM	UICN
Charadriiformes										
Scolopacidae										
		<i>Actitis macularius</i>	*	*	M	Ra				Pm
		<i>Calidris canutus</i>		*	M	Ra				Pm
Recurvirostridae										
		<i>Himantopus mexicanus</i>	*	*	Re	C				Pm
Columbiformes										
Columbidae										
		<i>Columbina inca</i>	*	*	Re	C				Pm
		<i>Zenaida asiática</i>	*	*	Re	Nc				Pm
		<i>Columbina passerina</i>	*		Re	Nc				Pm
		<i>Columbina talpacoti</i>	*		Re	Ra				Pm
		<i>Patagioenas flavirostris</i>	*		Re	Ra				Pm
Cuculiformes										
Cuculidae										
		<i>Crotophaga sulcirostris</i>	*	*	Re	Nc				Pm
		<i>Piaya cayana</i>	*		Re	Ra				Pm
		<i>Morococcyus erythropys</i>	*		Re	Nc				Pm
Caprimulgiformes										
Caprimulgidae										
		<i>Nyctidromus albicollis</i>	*		Re	Ra				Pm
		<i>Chordeiles acutipennis</i>		*	M	Ra				Pm
Apodiformes										
Trochilidae										
		<i>Amazilia rutila</i>		*	Re	Nc		II		Pm
		<i>Cyananthus latirostris</i>	*		Re	Nc		II		Pm
Trogoniformes										
Trogonidae										
		<i>Trogon citreolus</i>	*	*	Re	Nc	*			Pm
Coraciiformes										
Momotidae										
		<i>Momotus mexicanus</i>	*	*	Re	C				Pm
Alcedinidae										
		<i>Chloroceryle aenea</i>	*		Re	Nc				Pm
		<i>Ceryle torquata</i>	*		Re	Nc				Pm
Piciformes										
Picidae										
		<i>Melanerpes chrysogenys</i>	*	*	Re	C	*			Pm
Passeriformes										
Parulidae										
		<i>Icteria virens</i>	*	*	M	Ra				Pm
		<i>Setophaga petechia</i>		*	M	Ra				Pm
Hirundinidae										
		<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	*	*	R	C				Pm

Continuación

Orden Familia Especie	Hum.	Est.	E.	A	En	CITES	NOM	UICN
Emberizidae								
<i>Volatinia jacarina</i>	*		Re	Ra				Pm
<i>Arremonops rufivirgatus</i>		*	Re	C				Pm
Turdidae								
<i>Turdus rufopalliatus</i>	*		Re	Nc				Pm
Icteridae								
<i>Icterus spurius</i>		*	M	Ra				Pm
<i>Quiscalus mexicanus</i>	*	*	Re	C				Pm
<i>Icterus pustulatus</i>	*	*	Re	Ra				Pm
<i>Icterus gularis</i>		*	Re	Ra				Pm
<i>Icterus pectoralis</i>		*	Re	Ra				Pm
<i>Cacicus melanicterus</i>	*	*	Re	C				Pm
Troglodytidae								
<i>Campylorinchus rufinucha</i>	*	*	Re	C				Pm
Cardinalidae								
<i>Cardinalis cardinalis</i>	*		Re	Ra				Pm
<i>Passerina leclancherii</i>	*		Re	Nc				Pm
Tyrannidae								
<i>Myiarchus tyrannulus</i>		*	Re	C				Pm
<i>Tyrannus melancholicus</i>	*	*	Re	C				Pm
<i>Myiozetetes similis</i>	*	*	Re	C				Pm
<i>Pitangus sulfuratus</i>	*	*	Re	C				Pm
Corvidae								
<i>Calocitta formosa</i>	*	*	Re	C				Pm
Poliophtilidae								
<i>Poliophtila caerulea</i>	*		M	Ra				Pm

Nota:

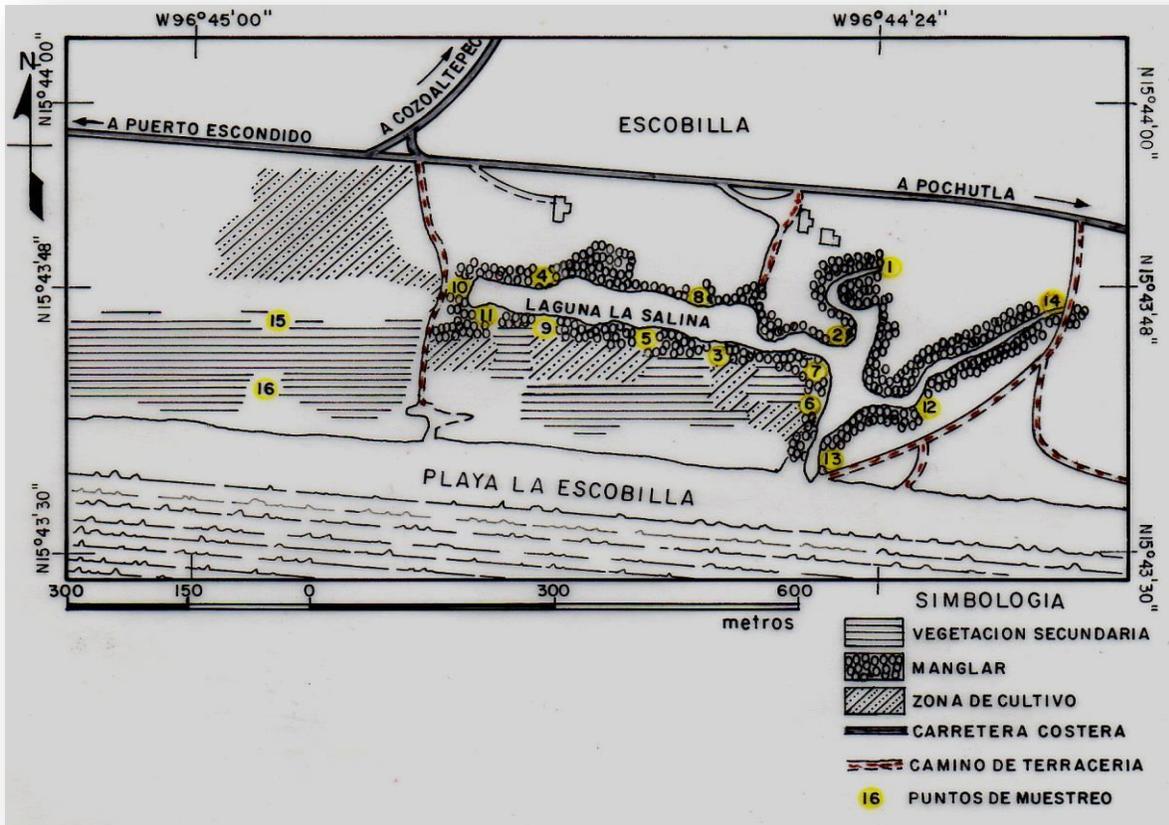
CITES=Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de flora y fauna silvestre: Apéndice I, II, III.

IUCN=Unión Internacional para la conservación de la naturaleza:

Pm=preocupación menor.

NOM-059-2010= Norma Oficial Mexicana: Pr=sujeta a protección especial.

Apéndice 3. Los 16 puntos de muestreo donde se recolectaron los sedimentos de suelo, se realizaron las mediciones morfométricas de vegetación y se efectuó el recuento de aves para diversidad.



Apéndice 4. Localización geográfica de los 16 puntos de muestreo.

	Latitud N	Longitud W
1 Brazo de la laguna; junto agencia comunitaria	15°43'48"	96°44'23"
2 Manglar botoncillo, cerca de caobas	15°43'43"	96°44'27"
3 Manglar enfrente de la cooperativa, cerca de cultivo	15°43'42"	96°44'33"
4 Manglar enfrente del islote	15°43'47"	96°44'42"
5 Manglar al lado del cultivo de cacahuete	15°43'44"	96°44'37"
6 Manglar botoncillo lateral rumbo a bocabarra	15°43'39"	96°44'27"
8 Manglar lateral a cultivo de maíz y orilla de laguna	15°43'47"	96°44'35"
9 Manglar negro lateral a la orilla de laguna	15°43'44"	96°44'43"
10 Manglar botoncillo frente al montículo, laguna	15°43'47"	96°44'47"
11 Manglar negro en el último extremo de laguna	15°43'45"	96°44'47"
12 Manglar botoncillo en arroyo que conecta a la laguna	15°43'39"	96°44'21"
13 Manglar botoncillo en la bocabarra, cerca de playa	15°43'45"	96°45'02"
14 Acahual junto al arroyo que conecta a la laguna,	15°43'44"	96°45'03"
15 Acahual cerca del area de potrero	15°43'41"	96°45'05"
16 Acahual cerca de playa y campamento tortuguero	15°43'40"	96°45'09"

Apéndice 5. Tablas adicionales de resultados

Tabla XV. Caracterización textural de las muestras de suelo del área de estudio.

Muestra	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clasificación
Sitio 1	3.08	6.0	90.92	Arena
Sitio 2	5.08	10.0	84.92	Arena-Migajon
Sitio 3	9.08	4.0	86.92	Arena-Migajon
Sitio 4	5.08	8.0	86.92	Arena-Migajon
Sitio 5	5.08	8.0	86.92	Arena-Migajon
Sitio 6	11.08	4.0	84.92	Arena-Migajon
Sitio 7	7.08	8.0	84.92	Arena-Migajon
Sitio 8	7.08	20.0	72.92	Migajon-Arenoso
Sitio 9	7.08	6.0	86.92	ArenoMigajonoso
Sitio 10	7.08	4.0	88.92	Areno-Migajon
Sitio 11	7.08	8.0	84.92	Migajon-Arenoso
Sitio 12	11.08	16.0	72.92	Migajon-Arenoso
Sitio 13	3.08	16.0	80.92	Arena-Migajon
Sitio 14	3.08	6.0	74.92	Arena
Sitio 15	9.08	16.0	74.92	Migajon-Arenoso
Sitio 16	5.08	10.0	84.92	Arena-Migajon

Tabla XVI. Correlación canónica entre las variables (AVIFAUNA) y (AMBIENTAL) para la estación de humedad periodo 2012-213.

Correlación canónica	Correlación canónica cuadrada	Ji cuadrada	Lambda Prime	Valor de significancia
0.835	0.697	17.6502	0.193	0.018
0.536	0.288	4.692	0.639	0.898
0.318	0.101	1.122	0.898	0.289

Tabla XVII. Coeficientes canónicos estandarizados para la variable canónica AMBIENTAL (salinidad, cobertura, altura) para la estación de humedad periodo 2013.

Variable	AMBIENTAL
Salinidad del suelo	0.416
Cobertura vegetal	-0.678
Altura arbórea	-0.993

Estructura del factor canónico para la variable ambiental. AMBIENTAL=0.416 (salinidad del suelo) - 0.697 (cobertura vegetal) - 0.993 (altura arbórea).

Tabla XVIII. Coeficientes canónicos estandarizados para la variable canónica AVIFAUNA (riqueza, abundancia, diversidad) para la estación de humedad periodo 2013.

Variable	AVIFAUNA
Riqueza de especies	-0.514
Abundancia de individuos	-0.892
Diversidad	0.063

Estructura del factor canónico para la variable avifauna. AVIFAUNA=-0.514 (riqueza de especies) - 0.892 (abundancia de individuos) + 0.063 (diversidad).

Tabla XIX. Correlaciones cruzadas para la estación húmeda entre la variable canónica AMBIENTAL (salinidad, cobertura, altura) y la variable canónica AVIFAUNA (riqueza, abundancia, diversidad).

	Riqueza	Abundancia	Diversidad
Salinidad	0.073540	-0.188098	0.236418
Cobertura	0.377313	0.642359	0.327584
Altura	0.427637	0.725175	-0.099835

Tabla XX. Correlaciones cruzadas para la variable AMBIENTAL. Estación de humedad.

	Salinidad	Cobertura	Altura
Salinidad	1.000	-0.024	-0.408
Cobertura	-0.024	1.000	0.601
Altura	-0.408	0.601	1.000

Tabla XXI. Correlaciones cruzadas para la variable AVIFAUNA. Estación de humedad.

α	Riqueza	Abundancia	Diversidad
Riqueza	1.000	-0.024	-0.408
Abundancia	-0.024	1.000	0.601
Diversidad	-0.408	0.601	1.000

Tabla XXII. Análisis de redundancia para las variables, correspondiente a la estación de humedad.

Número de variables	3	3
Varianza extraída	100.000%	100.000%
Porcentaje de redundancia	45.8584%	36.8835%
Variables : 1	Salinidad	Riqueza
2	cobertura vegetal	Abundancia
3	Altura	Diversidad

Apéndice 6. Características ecológicas de los gradientes salinos

Gradiente I



Buteo magnirostris en dosel.



Nido de *Icterus pectoralis*.



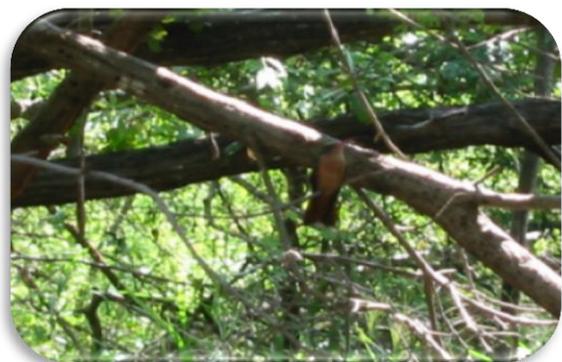
Elementos arbóreos de *L. racemosa* y *C. erectus*.



Suelo protegido y descenso de evapotranspiración debido a mayor estructura arbórea.



Presencia de *Fulica americana* en las arroyadas intermitentes.



Amazilia rutila en el apéndice II de CITES.

Gradiente II y III



Egretta thula en el apéndice III de CITES.



Colonia de *Himantopus mexicanus* en la cubeta lacustre que pertenece a este



Existen evidencias de adaptabilidad y crecimiento vegetal a pesar de las modificaciones inducidas dentro del hábitat.



Chordeiles acutipennis, especie migratoria que se observó en asociaciones de *C. erectus* y *A. Germinans*.

Gradiente IV



Deforestación y apertura de tierras al cultivo, azolve sedimentario, cambios en el nivel hidrológico:

Estimulan la hipersalinidad del agua y suelo, lo cual conlleva, efectos negativos en la vegetación y biodiversidad (avifauna).



El resultado son amplias zonas de suelo desprotegido de cubierta vegetal, que conlleva disminución de diversidad de aves.



El resultado de las condiciones eco hidrológicas salinas son: amplias zonas de suelo desprotegido de cubierta vegetal, que conlleva disminución de diversidad de aves.



Coragyps atratus, una especie de presencia constante en este gradiente.