



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

“Estudio en la duda. Acción en la fe”



**MEDICIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS
HUMEDALES DE LA PLANICIE TABASQUEÑA,
MÉXICO.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE ECOSISTEMAS
TROPICALES

PRESENTA

CORAL JAZVEL PACHECO FIGUEROA

ASESORA

DRA. LILIA MARÍA GAMA CAMPILLO

VILLAHERMOSA, TABASCO. MÉXICO. NOVIEMBRE, 2014

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
México.

UJAT
DIVISION ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCION.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



"2014, Conmemoración del 150 Aniversario de
la Gesta Heroica del 27 de Febrero de 1864"

OCTUBRE 30 DE 2013

**C. CORAL JAZVEL PACHECO FIGUEROA
PAS. DEL DOCTORADO EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE
SISTEMAS TROPICALES
P R E S E N T E.**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: "**MEDICIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES DE LA PLANICIE TABASQUEÑA, MEXICO**", asesorado por Dra. Lilia María Gama Campillo sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dr. Mario Arturo Ortíz Pérez, Dra. Lilia María Gama Campillo, Dr. Luis José Rangel Ruiz, Dr. Stefan Louis Arriaga Weiss, Dra. Ena Edith Mata Zayas y Dra. Silvia Cappello García.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**



C.c.p.- Expediente del Alumno.

C.c.p.- Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: dirección.dacbiol@ujat.mx



Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

CARTA AUTORIZACIÓN

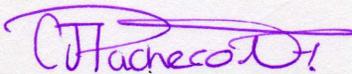
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **"MEDICIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES DE LA PLANICIE TABASQUEÑA, MEXICO"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 30 Días del mes de Octubre de 2014.

AUTORIZO



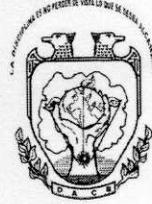
CORAL JAZVEL PACHECO FIGUEROA



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



"2014, Conmemoración del 150 Aniversario de
la Gesta Heroica del 27 de Febrero de 1864"

Villahermosa, Tab., a 30 de Octubre de 2014

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la: **C. CORAL JAZVEL PACHECO FIGUEROA** egresada del Doctorado en **ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **"MEDICIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES DE LA PLANICIE TABASQUEÑA, MEXICO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**M. EN C. ROSA MARTHA RADRON LOPEZ
DIRECTORA DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
Objetivos Específicos	3
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO	4
El paisaje Tabasqueño	4
Modificaciones naturales del paisaje Tabasqueño	5
Modificaciones no naturales al paisaje	7
Los Humedales	9
Definición y clasificación	9
Importancia de los humedales	11
Amenazas a los humedales	13
Los humedales del Estado de Tabasco	15
Indicadores ambientales de impacto a humedales	18
a) Paisaje	19
b) Ecosistemas y Ecoregiones	21
c) Especies Indicadoras	22
Literatura Citada	24
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN, DELIMITACIÓN ESPACIAL Y CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES EN LA PLANICIE TABASQUEÑA, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN POR LA EXTRACCIÓN PETROLERA	27
INTRODUCCION	27
METODOLOGIA	28
Definición del área de estudio	28
Determinación de criterios para la delimitación y clasificación de los tipos de humedales	29
1) Criterio Botánico	30
2) Criterios Hidrológicos	31
Cuerpos de agua	29
Pulso de Inundación	32
3) Criterios de Uso de Suelo	33
4) Criterios Ecológicos	34
Colindancia	34
Fragmentación	35
Viabilidad de ecosistemas	35
Resiliencia del ecosistema	35

Condición o grado de perturbación	36
Categorización de los Humedales	37
Fotointerpretación	39
Selección de imágenes	39
Digitalización en pantalla	39
Aplicación de criterios	40
Elaboración de cartografía preliminar	44
Verificación en campo	45
Elaboración de cartografía final	45
RESULTADOS Y DISCUSION	45
Delimitación de los humedales de la Planicie Tabasqueña	45
Clasificación de los tipos de humedales	46
Humedales Tipo 1: Manglares y/o fragmentos de tinto y/o pukté, y área de salvaguarda	47
Humedales Tipo 2:a b, c	48
Humedales Tipo 3: Zona de transición	54
Humedales Tipo 4: Pastizales inundables de uso ganadero	56
Descripción de la cobertura por tipo de humedal	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Humedal Tipo 1	62
Humedal Tipo 2a	62
Humedal Tipo 2b	63
Humedal Tipo 2c	64
Humedal Tipo 3	65
Humedal Tipo 4	65
LITERATURA CITADA	67
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LOS HUMEDALES NATURALES	
TABASQUEÑOS EN FUNCIÓN DE SU FORMA	74
INTRODUCCION	70
MATERIALES Y MÉTODOS	76
Área de Estudio	76
Clima	77
Hidrología	77
Vegetación	78
Fauna Silvestre	78
Cartografía	79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81

Métricas de composición	81
Métricas de Configuración	83
Índice de forma	83
Índice de Compactación	85
Grado de fragmentación	86
CONCLUSIONES	86
REFERENCIAS	87
CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA PETROLERA Y SU IMPACTO EN LA FAUNA SILVESTRE	89
Introducción	89
Impactos directos, indirectos y acumulativos a causa de las actividades petroleras en el Estado	90
Medidas preventivas y recomendaciones	95
Literatura citada	98
CAPÍTULO 5. MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS DE LA ZONA COSTERA TABASQUEÑA	102
RESUMEN	102
SUMMARY	102
RESUMO	103
Introducción	103
Método	104
Área de estudio	104
Colecta de datos	105
Análisis de Datos	106
Resultados	107
Discusión	112
Conclusiones	113
Referencias	114
CONCLUSIÓN GENERAL	117

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

Figura 1. Modificaciones naturales de los causes del Mezcalapa (Echegaray *et al.* 1956, citado por Instituto Nacional de Ecología 2008) 7

Figura 2. Humedales de Tabasco (Tomado de Barba-Macías *et al.* 2006) 17

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN, DELIMITACIÓN ESPACIAL Y CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES EN LA PLANICIE TABASQUEÑA, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN POR LA EXTRACCIÓN PETROLERA.

Figura 1. Delimitación de la planicie Tabasqueña seleccionada para caracterizar el área de Humedales 29

Figura 2. Representación esquemática del pulso de inundación 33

Figura 3. Diagrama de flujo para clasificar a los humedales 36

Figura 4. Diagrama de flujo para clasificar a los humedales (continuación) 37

Figura 5. Ejemplo del proceso de digitalización: a) imagen SPOT y b) digitalización en pantalla de la cobertura de manglar 40

Figura 6. Representación esquemática del área de salvaguarda del manglar 41

Figura 7. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 1 48

Figura 8. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 2a 51

Figura 9. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 2b 52

Figura 10. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 2c 54

Figura 11. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 3 55

Figura 12. Imágenes de los humedales considerados Tipo 4 56

Figura 13. Clasificación de humedales identificados en el Estado de Tabasco 59

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LOS HUMEDALES NATURALES TABASQUEÑOS EN FUNCIÓN DE SU FORMA.

Figura 1. Mapa de ubicación del estado de Tabasco con la clasificación de vegetación y usos de suelo 76

Figura 2. Porcentaje de Fragmentos con valores de fragilidad o poca fragilidad, para los Humedales del Estado de Tabasco 79

CAPÍTULO 5. MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS DE LA ZONA COSTERA TABASQUEÑA.

Figura 1. Carreteras de la zona costera del estado de Tabasco, recorridas para el inventario de fauna colisionada	105
Figura 2. Distribución de frecuencia de registros por gremios en época de lluvias y secas para cada grupo taxonómico, en las carreteras de la costa Tabasqueña	109
Figura 3. Índice Kilométrico de Abundancia (IKA), por época y grupo taxonómico, en las carreteras de la costa Tabasqueña	110
Figura 4. Número de individuos atropellados para cada especie en alguna categoría de protección por la NOM-059-SEMARNAT-2010, en las carreteras de la costa Tabasqueña	111

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

Tabla 1. Valores y funciones de los humedales (Adaptado de: Convención de Ramsar, Saniunjo y Casas 2005 y CONAFOR, 2007)	14
Tabla 2. Tipos de humedales en el Estado de Tabasco (Adaptado de Barba-Macías <i>et al.</i> , 2006)	16

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN, DELIMITACIÓN ESPACIAL Y CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES EN LA PLANICIE TABASQUEÑA, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN POR LA EXTRACCIÓN PETROLERA.

Tabla 1. Tipos de vegetación presente en los humedales identificados en la Planicie Tabasqueña (Adaptado de Pacheco <i>et al.</i> , 2008)	30
Tabla 2. Categorización de humedales de la planicie Tabasqueña	39
Tabla 3. Clasificación de humedales en función a la propuesta de Manejo	46
Tabla 4. Funciones potenciales que desempeña cada uno de los tipos de humedales identificados	53
Tabla 5. Clasificación de los humedales registrados dentro del Estado de Tabasco ..	57

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LOS HUMEDALES NATURALES TABASQUEÑOS EN FUNCIÓN DE SU FORMA.

Tabla 1. Tipos de vegetación y usos del suelo determinados para el estado de Tabasco. Adaptado de Barba Macías <i>et al.</i> , 2006	79
--	----

Tabla 2. Forma de fragmentos según el índice de diversidad de formas de Patton	80
Tabla 3. Valores para el índice de fragmentación	81
Tabla 4. Número de Parches por clase, área y área promedio del parche de la vegetación y uso de suelo de Tabasco	82
Tabla 5. Número de Fragmentos de vegetación por tipo de Forma (Índice de Patton) .	83
Tabla 6. Superficie de los Fragmentos de vegetación por tipo de Forma (Índice de Patton)	84

CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA PETROLERA Y SU IMPACTO EN LA FAUNA SILVESTRE.

Cuadro 1. Impactos directos a causa de la actividad petrolera en el estado.....	91
Cuadro 2. Impactos indirectos por la actividad petrolera.....	92

CAPÍTULO 5. MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS DE LA ZONA COSTERA TABASQUEÑA.

TABLA I. Riqueza y abundancia de especies identificadas como colisionadas en las carreteras de la costa Tabasqueña	108
TABLA II. Total de órdenes, familias y géneros identificados como colisionados en las carreteras de la costa Tabasqueña	108

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto FOMIX (TAB-2009-C17-120755): "Evaluación de los indicadores de impacto ambiental identificados en el Estado de Tabasco". Por el apoyo financiero para la realización de esta investigación.

A mi Asesora:

Dra. Lilly Gama, quien siempre me apoyo y creyó en mi, a pesar de mis dudas y desconocimiento del funcionamiento de este mundo; y por su invaluable amistad, cariño y enseñanzas.

A mi comité revisor:

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dr. Mario Arturo Ortíz Pérez, Dra. Lilia María Gama Campillo, Dr. Luis José Rangel Ruiz, Dr. Stefan Louis Arriaga Weiss, Dra. Ena Edith Mata Zayas y Dra. Silvia Cappello García, por sus enseñanzas, revisiones y comentarios que hicieron posible este documento.

A mi Familia:

Empezando por mi crítico más fuerte, y a la vez mi más grande apoyo. Pero sobre todo al amor más grande de vida. Mi esposo, mi novio, mi amante, mi jefe, mi compañero, Juan de Dios Valdez Leal. Esta tesis sabes que es tuya. Gracias por tus enseñanzas sobre los mamíferos, y sobre todo de la biodiversidad de este planeta, y por esos viajes y aventuras, que nos han llevado a recorrer lugares, que nunca me hubiera imaginado.

Gracias a esas dos grandes personas, que me dieron la vida y me dieron unos grandiosos hermanos. Ellos fueron mis primeros maestros, y así como cuando me enseñaron

a escribir, y en lugar de llamarles solo papas, pues los menciono aquí con todos sus nombres, para que vean que aun no me falla la memoria: Francisco Pacheco García y Martha Guadalupe Figueroa Pulido, son ustedes mi motor, mi vida entera, mi aliciente, mis amigos y confidentes. Los quiero de aquí al infinito y más allá. Gracias por estar siempre ahí y sostenerme cuando sentía que no daba más. Este logro es más suyo que mío. Sin Ustedes, hasta el techo me hubiera caído en la cabeza.

Clavel, mi comadrita, mi hermanita, confidente y compañera de aventuras, fortaleza de mis días de desconsuelo. Gracias por acompañarme y apoyarme en todo este recorrido. Esta tesis viajo, supero las barreras del idioma y llego a muchos continentes gracias a ti.

Ivan, mi werincha, gracias por tu cariño, y por mi Cuñis, Adriana. Gracias a los dos por su apoyo, pero sobre todo por hacerme conocer el amor incondicional de sus bebos, los más hermosos. Diego Ivan e Ivana Abril, esta tesis igual es para ustedes, no como un reto, es por el amor que les tengo, y solo quiero que algún día se sientan orgullosos, de su tía-madrina, que a pesar de estar cerca, no la ven; no porque no quiera, sino porque intenta estudiar y obtener más conocimientos cada día, para ser mejor como profesional y como ser humano.

Don Toño y Doña Tala, gracias por agregarme a su familia. Ustedes son colaboradores de este proceso, y su apoyo es

invaluable. "Manitos y Manitas, y Cuñis", gracias a todos por su cariño, apoyo y solidaridad, con este paso; y sobre todo, por ser mis amig@s, esas reuniones y chistes fueron lo mejor, para sobrevivir un doctorado, especialmente cuando estamos todos juntos los quiero Familia Valdez: Jaime, Ana, Luis, Morro, Lupe, y Arcelia, Daniel, Lupita, Angélica, Juan Manuel. Espero les guste a los sobrin@s, y espero pronto ver que cosechen sus éxitos, todos son muy inteligentes, trabajadores y con sueños por realizar, sigan adelante, me siento orgullosa de ustedes: Luisito, Ileri, Fernando, Mariana, Christian, Alexis, Ana Christina, Leslie, Daniela, Manuelito, Ximenita

A mi familia Tica, Shrilita, Marco, Irenita. A los grandes amigos que me dio Costa Rica: Hilda Casasola, Valeria, a la Doceava, Laura Porras, Grace, Eduardo Carrillo, Miriam, Carlitos y Familia. Muchas gracias.

Dentro de mi Familia, hay muchos seres queridos y la lista es inmensa, pero agradezco todo su cariño, y buenas vibras, con las cuales logre terminar esta tesis.

Agradezco también a los que un día fueron mis alumnos, pero se convirtieron luego quienes ya considero de mi familia: Elías Gordillo Chávez, esta fue una tesis, que también es tuya. Esas grandes platicas, discusiones y peleas, pero sobre todo cariño, es lo que va escrito en este documento, y si no hubieras estado no la hubiera terminado. Eres un gran amigo, un hermano, que inicio como mi alumno, pero al final el fue mi maestro, más de lo que pude yo enseñarle a él, Te quiero mucho. Faby: mi maestra de Humedales, esta Tesis, no hubiera sido

creada, sin tus enseñanzas de humedales, gracias por ser mi otra gran maestra. A Victor, gracias por tu ejemplo de dedicación. Gracias a los tres, que vivieron en los momentos más difíciles de esta tesis, y en las enseñanzas más grandes que nos llevo a enfrentar los conocimientos en la vida real. También Agradezco a Ruth, que sin su ayuda, no habría sobrevivido los últimos años, ella llego silenciosamente, y fue creciendo hasta convertirse en una gran colega, que apoyo en todos los aspectos esta tesis; gracias por ser conejillo de indias en mis primeros proyectos y por estar ahí sigilosamente, pero atenta, para apoyar en todo, esta tesis igual tiene una parte de ti.

Profe Moguel, un agradecimiento muy especial, por enseñarme todo lo que se sobre como vincularme a la realidad, gracias por la oportunidad de trabajar con Usted, y de ser mi gran maestro, pero sobre todo amigo. Esas sesiones largas de pláticas, y ese impulso para crear nuevas cosas, y aterrizar ideas; pero sobre todo por decirme que uno debe vivir su vida y ser feliz, sin importar esa cantidad de trabajo o el agobio de los problemas. Gracias por ser amigo, jefecito y apoyo en todo este tiempo. Sin Usted, no hubiera llegado hasta aquí; seguro ya estaría en el Psiquiátrico.

Gracias Candy y Pili, mis mentoras, para ser diplomática, para ser precisa y concisa, pero sobre todo por esas horas de relajación, que nos hacen sobrevivir a una difícil semana. La amistad y el trabajo son reales.

Gracias a mi gran maestro Joel, esas largas pláticas, que no fueron en un salón de clase, sino en una mesa, con ricas cosas, fueron las

que más me instruyeron y construyeron los pilares de esta tesis. Tú me acercaste a este mundo de cosas interesantes, y mi mejor regalo fueron tus felicitaciones a lo que he alcanzado. Eres coautor, de todos mis artículos, porque en ellos son cosas que he aprendido de ti.

Mis grandes amigos, amigas, compadres y ahijad@s que me mantuvieron cerca de la vida real, y me ayudaron a mantener el hilo delgado entre el estudio y la guerra de la vida real.

A mis tesisas, que ahora son mis grandes amigos, y algunos primero fueron amigos, y a pesar de conocerme, quisieron entrar a la aventura de ser mis tesisas: Chris, tú también me hiciste conocer el impacto positivo. Santiago, me llevaste a conocer el sentido de responsabilidad. Esmeralda, los anfibios y reptiles los conocí ampliamente gracias a ti. América, tú me presentaste los Hongos, desde otro ángulo. Yazmin y Bertha, gracias por acercarme a sus monos, que aun tienen mucho por decirnos. Santos, cada día se más de las aves, y puedo saber de sus funciones gracias a ti. Ruth y Victor, me mostraron como hacer una tesis con dedicación y empeño.

A tod@s mis estudiantes, que estuvieron conmigo mientras estuve en el desarrollo de este gran proyecto.

Agradezco a la COVINSE, con quien crecí como persona y como profesional, fueron muchas las enseñanzas. A todos los que han pasado y que aún se mantienen, en este gran proyecto que muestra el vínculo a nuestra realidad. Gracias a la COVINSE pertenezco a mi alma mater, no solo como alumna sino como profesional.

Agradezco a todo el personal, de petróleos mexicanos, DGIRA, SEMARNAT, gobierno del Estado de Tabasco, Conagua y Holcim, con quienes tuve que trabajar, y en el proceso me enseñaron muchas cosas aplicadas a nuestra realidad. Gracias a ellos, esta tesis, es más real, y sirve para la toma de decisiones. Un honor trabajar con todos ustedes, y sobre todo gracias por sus enseñanzas. La lista de nombres es interminable, para no perderme de ninguno solo quiero decirles gracias a tod@s. Después de cualquier reunión de trabajo con Ustedes, no hay examen difícil.

Un agradecimiento especial a esas amigas, que siempre estuvieron pendientes de este proceso y me apoyaron en la larga tramitología: Dra Claudia Zenteno, Julia, MC Lupita, Doña Mary, Alfonso, Dra Luisa.



DEDICATORIA

A mi familia,

a mi País,

a Dios,

a la Vida y

a las generaciones futuras.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

INTRODUCCIÓN.

Los ecosistemas más vulnerables y que han sufrido una mayor pérdida en Tabasco son los humedales. Estos ecosistemas son considerados a nivel mundial como un importante recurso natural para la reducción de efectos del cambio climático y en el caso particular de Estado de Tabasco, ocupan un alto porcentaje del territorio. Son sistemas ricos en biodiversidad, en especial por las zonas de intercambio entre el agua dulce y el agua marina y que, a su vez los vuelve sistemas con alta fragilidad. Estos sistemas se encuentran amenazados en principio por la alteración del sistema hidrológico, debido al crecimiento de redes carreteras e infraestructura petrolera, mismas que alteran la dinámica y procesos ecológicos que en ellos ocurren.

Los humedales se ven fuertemente influenciados por una gran cantidad de ecosistemas no naturales asociados a una grave dinámica de transformación de varios siglos. Dentro de ellos, la predominancia son los grandes pastizales inundables, que en ocasiones rodean parches de manglar que aún mantienen su integridad ecológica. Este tipo de ecosistema muestra amenazas tales como el avance de la frontera agrícola, la extracción de madera y la interrupción de flujos de agua; actividades que muchas veces son propiciadas por el desarrollo de caminos, requeridos en algunos casos para el desarrollo de la industria petrolera en la zona.

El seguimiento de los humedales por medio de indicadores ambientales (IA) ofrece una eficiente y temprana toma de decisiones, considerando factores ambientales y económicos (INE, 2000; Quiroga, 2009). El modelo de IA se divide por niveles para su medición: Paisaje, Ecoregiones y Ecosistemas, y Especies. Algunos indicadores reflejan el estado del ambiente en relación a un impacto ambiental, otros reflejan la interrelación entre los efectos ambientales sectoriales y las condiciones ambientales y existen los que informan sobre el costo ambiental asociado a una actividad económica. Los IA basados en el paisaje se dirigen

principalmente a medir la fragmentación en función del tamaño, forma y distancia de los parches. Estos IA ofrecen información relacionada con las medidas de biodiversidad de esos parches (Paoletti 1999), ofreciendo datos no sólo del ecosistema natural de interés; sino también, de la matriz que los rodea, así como configuración espacial de fragmentos dentro del paisaje.

La identificación y evaluación de esos indicadores permiten determinar que una gran superficie del Estado sufrirá alguna modificación como consecuencia del cambio climático. Por lo que estos IA demuestran su utilidad en la toma de decisiones de mitigación, planeación y desarrollo de estrategias de adaptación. Los indicadores a nivel de ecosistemas o regiones son construidos por medio de la estimación de la cobertura que abarcan los diferentes ecosistemas claves, tales como los Humedales. Los cuales se analizan para estimar su aporte de servicios ambientales y biodiversidad. Cabe resaltar que este análisis es dirigido a sólo un tipo de ecosistema o cobertura, sin relacionarlo con su entorno.

Dentro de los indicadores se contemplan organismos taxonómicamente y funcionalmente afines (Halffter & Moreno 2005), también llamadas especies indicadoras. La fauna que es usada como indicadora debe cumplir con una serie de criterios o requisitos claves. Son agrupadas en indicadoras de salud, poblaciones y biodiversidad. Las indicadoras de salud, son aquellas que señalan cambios ambientales o indicadoras de salud ecológica. Las indicadoras de población muestran cambios en las poblaciones, ligadas a ellas. Las de biodiversidad, señalan áreas de alta riqueza de especies (Isasi-Catalá, 2011). Los más comúnmente utilizados son: los anfibios, reptiles, aves, mamíferos y los invertebrados que incluyen miriápodos terrestres, quelicerados e insectos (Andrade, 1998; Herrera y Cuevas, 2003; O'Connell, 2009; Paoletti, 1999).

Tomando en consideración el estado de deforestación y contaminación del estado de Tabasco, se consideró necesario realizar un análisis de IA ambientales a nivel de paisaje, ecosistema y especies. Para ello, se contempló caracterizar los

humedales como estrategia de conservación a nivel de paisaje con el fin de delimitar la explotación petrolera en su interior. A nivel de Ecosistema se realizó el Análisis del Estado de los humedales Tabasqueños en función de su forma, y a nivel de especies, se analizó el Impacto de la infraestructura petrolera en la fauna, y se estimó la mortalidad de fauna en carreteras de humedales costeros. Todo esto con el fin de obtener un panorama del estado de conservación que mantienen los humedales de la planicie Tabasqueña.

OBJETIVO GENERAL

- Describir del estado de conservación de los humedales de la planicie Tabasqueña.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar los humedales de la planicie Tabasqueña como estrategia de conservación, ante la extracción de hidrocarburos.
- Analizar el estado de los humedales en función de las características de la fragmentación.
- Describir el impacto de la infraestructura petrolera en la fauna.
- Describir el impacto de las vías carreteras en la biodiversidad de la región de los humedales costeros, por la frecuencia de atropellos de la fauna silvestre.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

El paisaje Tabasqueño

El estado de Tabasco, ubicado dentro del trópico mexicano, en el sureste de la República Mexicana, está compuesto por dos provincias fisiográficas, la Llanura Costera del Golfo Sur y la Sierra de Chiapas y Guatemala (Sánchez y Barba 2005), en la cuenca baja de los ríos Grijalva y Usumacinta, la más grande y caudalosa de México. Por sus características geológicas, climáticas, fisiográficas e hidrológicas, esta región tiene importantes amenazas por fenómenos hidrometeorológicos extremos, lo que hace que la región sea llamada llanura costera inundable.

Por su ubicación tiene una gran pluralidad de geosistemas que permiten el desarrollo de diferentes tipos de comunidades vegetales, lo que da origen a ecosistemas complejos. El Estado ha sido dividido en regiones naturales con diferentes finalidades. Zavala (1988) presenta una síntesis de estas regionalizaciones en la que menciona que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) mediante criterios fisiográficos (paisaje, geología, suelos y uso actual) realiza una regionalización natural. Igualmente menciona que Flores *et al.* (1984) realizan una división de 11 regiones, usando relieve, geología, suelos, hidrología, clima y vegetación. Por último, utiliza para su estudio una división regional del medio físico de la llanura tabasqueña, distinguiendo tres sistemas morfogénicos A) superficie de depositación del pleistoceno, b) llanura fluvial reciente y c) las formas costeras recientes, que fue propuesta por Psuty (1966) y West *et al.* (1986).

De acuerdo al Programa de ordenamiento ecológico del estado de Tabasco (POEET) y Pérez *et al.* (2005), los ecosistemas presentes pueden ser divididos en ecosistemas inundables y no inundables y ecosistemas culturales (SEDESPA 2006). Los cuales incluyen las comunidades vegetales de selva alta perennifolia, selva alta subperennifolia, selva mediana perennifolia, selva baja inundable y los bosques de galería, entre otros. Sin embargo, la intensa deforestación que ha sufrido el Estado, ha propiciado la desaparición de gran parte de su cobertura,

resumiéndose en su mayoría a pequeños relictos, muchos de ellos con un elevado nivel de aislamiento (Rzedowski 2005, Sánchez y Barba 2005).

Modificaciones naturales del paisaje Tabasqueño

Los cambios naturales que se dan en los ecosistemas están asociados principalmente con huracanes, terremotos y erupciones volcánicas. El grado de modificación que ocasionen estos fenómenos depende de la intensidad de estos y las condiciones de los ecosistemas (Vargas 2002).

Los volcanes en algunos lugares incrementan la productividad primaria en el agua, debido a la ceniza volcánica depositada sobre la superficie. Por otro lado, existen alteraciones naturales que son de carácter permanente y con modificaciones drásticas; la lava arrojada por los volcanes es un ejemplo de ello. En 1982 la erupción del volcán Chichonal ubicado en Chiapas, cubrió por completo la vegetación de los alrededores y en otras partes esta fue destruida por los incendios ocasionados por el material incandescente que arrojó este volcán. Los ecosistemas aledaños al volcán fueron transformados en su totalidad y actualmente solo se encuentran algunos árboles remanentes y vegetación herbácea, quedando escasa vegetación original a partir de los 10 y 20 km a la redonda del cráter (Burnham & Spicer 1986). Además de la vegetación, los ríos también fueron modificados; el río Magdalena, antes de la erupción presentaba un dique producto de la erosión y acumulación de sedimentos, pero con la actividad volcánica registrada en 1982 destruyó el dique e incrementó el nivel del agua a 7 m de profundidad. Bajo esa situación el río Platanar también fue modificado por los procesos eruptivos del volcán, incrementado la profundidad del canal del río a 20 m y con una amplitud de 15m (Inbar *et al*, 2001).

Los huracanes son responsables de modificaciones en los ecosistemas, en Tabasco, así como las inundaciones. En la fauna las inundaciones afectan sus hábitos reproductivos, por la disminución de sitios de nidación para algunas especies. Otro impacto es la disminución de su abundancia, por la falta de

recursos alimenticios, o sitios de refugio (Bó y Malvárez, 1999; Manson *et al.*, 2009).

En Tabasco una de las modificaciones más importantes son las modificaciones que han sufrido los cauces de los ríos. El río Mezcalapa en 1881, por si mismo se desvió en el conocido rompido Manga de Clavo, formando el Río Carrizal al norte de la ciudad de Villahermosa y que desemboca al mar por la barra de Chiltepec ya con el nombre del Río Gonzales. En 1904, el rompido de la Pigua unió nuevamente el Mezcalapa al Grijalva, 4 kilómetros al norte de la capital y la corriente abandonó el cauce del González (Echegaray, *et al.*, 1956). En 1932, el rompido de Samaria derramó por la margen izquierda e inundó lo que desde entonces se llama la Olla de La Chontalpa (Figura 1). Cabe mencionar que la modificación de estos ecosistemas es una combinación de la intensidad de los flujos de agua natural de este río, asociado a eventos climáticos y las modificaciones que el ser humano había propiciado sobre algunos causes del sistema hidrológico de aquella época (Instituto Nacional de Ecología 2008).

Sin embargo de acuerdo al análisis realizado por Gama *et al.* (2010) con cartografía histórica, la hidrología superficial de la cuenca baja del Grijalva-Usumacinta tiene una gran dinámica natural, indistinta de los cambios inducidos con la intención de manejar el agua del río en propuestas de desarrollo (agricultura, energía) o para poder ubicar infraestructura o poblados. Pero los cambios realizados intencionalmente son más impactantes que los naturales, provocando que la magnitud y temporalidad de las inundaciones se incremente en distribución y dimensión.

naturales. Los efectos de impactos asociados a las actividades humanas, como el incremento de los gases invernadero influyen directamente sobre el cambio climático que afecta la biodiversidad, pero son lentos y difíciles de medir. Sin embargo el daño es global e irreversible (Kappelle 1999). Los efectos son sobre la diversidad de ecosistemas, especies y genes, cambiando la viabilidad de las poblaciones, la distribución y riqueza de especies, su estructura, composición y las funciones de los ecosistemas, lo que ocasiona la pérdida lenta de la biodiversidad (Berry *et al.* 2002, Laurance 2004).

En el estado de Tabasco las modificaciones a los ecosistemas han sido importantes, principalmente por la conversión de la cobertura vegetal original en grandes pastizales dedicados a la ganadería y tierra para cultivos agrícolas (Zavala y Castillo 2002, Salazar-Conde *et al.* 2004, SEDESPA 2006). Los impactos más fuertes de deforestación y de la transformación del régimen hidrológico se dieron de 1970-1980, década en la cual el millón de hectáreas de selva alta perennifolia fueron disminuidas a 75 000 ha, un 3% de la superficie estatal. Mientras que la superficie de pastizales que en un inicio abarcaba el 8% y para finales de la década de los 80 había ascendido a un 46.5% con 1.5 millones de hectáreas.

La industria petrolera también fue un causante de la pérdida de cobertura; debido al establecimiento de instalaciones de perforación de pozos y tendido de ductos, especialmente por la red de caminos y canales establecidos para facilitar los trabajos (Tudela 1992). Además afecta con los derrames de hidrocarburos ya sea por vertimiento de los productos usados en sus procesos, o por derrames, descontrol de pozos o rotura de oleoductos; derrame de sales, y la retención de aguas, con la que ocasionan alteraciones a los escurrimientos naturales. Otros impactos son los dragados, canalización, apertura de bocas, diques de contención y extracción de materiales (Zavala 1988). Teniendo en consecuencia cambios en los ecosistemas inundables, solo por citar un ejemplo, para el año 1975, el 92% de las 7 mil ha afectadas en el Estado por perforación de pozos correspondían a pantanos y zonas inundables (Zavala 1988).

Las modificaciones que han sufrido los ecosistemas en el Estado han sido tan importantes a causa de la deforestación, que las condiciones climáticas asociadas al territorio han incrementado su potencial de daños. Hoy se presentan lluvias más intensas que anteriormente no se presentaban, ocasionando severas inundaciones, cada vez más frecuentes (Gama-Campillo *et al.* 2010) que incrementan su potencial destructivo por los cambios en la cobertura.

Una modificación antrópica relevante a los ecosistemas acuáticos de Tabasco se ocasiono con la apertura de Boca de Panteones, en donde se abrió un pequeño paso en la barra de la laguna Machona y que posteriormente el mar se encargó de ampliar varios centenares de metros, modificando por completo las condiciones del sistema lagunar de la zona (Tudela 1992).

HUMEDALES

Definición y clasificación

El término Humedal, el cual más que definitorio es descriptivo, incluye de manera genérica a un variado grupo de sistemas y ambientes con características muy diversas, que se distribuyen a nivel mundial pero que tienen propiedades comunes que permiten su asociación aun cuando esto implica un elevado nivel de artificialidad (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2004). En general podemos decir que un humedal se compone de tres elementos principales:

- a) Cuerpo de agua.
- b) Tipos de vegetación asociada al cuerpo de agua.
- c) Suelos hídricos.

La definición de humedal más ampliamente utilizada es la propuesta por la Convención de Ramsar (1971), que establece que *“los humedales son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas*

o corrientes, dulces, salobres, o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina que no excedan de seis metros de profundidad”.

En México, el Art.2° fracción XII del reglamento de la Ley Nacional de Aguas Nacionales, define a los humedales como: *“las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófita de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominante hídrico, y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”* (Ley Nacional de Aguas, 2002).

Para los fines del presente estudio se ha propuesto la siguiente definición de Humedal: zonas de transición entre los sistemas acuáticos y los terrestres, las cuales se caracterizan por presentar vegetación adaptada a condiciones de suelos saturados (ejemplo: tulares, popales, carrizales, manglares); asociadas a un régimen hídrico, es decir, permanecen inundados ya sea permanentemente o más de la mitad del año; presentan suelos no drenados y el sustrato está saturado o cubierto por agua.

Una herramienta importante que facilita el manejo y la conservación de humedales es el desarrollo de un sistema que clasifique estos sistemas en distintos ecotipos, los cuales pueden ser asociados a distintas funciones y amenazas. Estos atributos, cuando son evaluados en una perspectiva ecosistémica, pueden ser usados para identificar una jerarquía de sitios y sus características de uso y manejo (Berlanga-Roblesy Ruiz-Luna, 2002; Scott & Jones 1995).

De acuerdo con la Convención de Ramsar, el criterio de clasificación de los humedales es mediante sistemas ecológicos, los cuales son: marinos (humedales costeros, incluyendo costas rocosas y arrecifes de coral), estuarinos (deltas, marismas de marea y pantanos de manglar), ribereños (ríos y arroyos), lacustres

(lagos) y palustres (lodazales, marismas, pantanos y ciénagas). En la actualidad se conocen 42 subsistemas de humedales basados en tres sistemas ecológicos: Humedales marino-costeros (12 subsistemas); humedales de aguas interiores (20 subsistemas) y humedales creados por el hombre (10 subsistemas).

Sin embargo, en nuestro País no existe consenso sobre el sistema clasificatorio que debe utilizarse para la realización del inventario nacional de humedales (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2002). Existen algunas propuestas de clasificación, como la sugerida por Barba *et al.* (2006), pero solo son a nivel de paisaje, sin entrar a fondo a una clasificación sobre el estado natural de cada uno de los humedales presentes, y por consiguiente el tipo de manejo que se pudiera realizar en los mismos.

Importancia de los humedales

Los humedales presentan características ecológicas propias, las cuales se entienden como la estructura y las relaciones entre los componentes biológicos, químicos y físicos del humedal, por lo que la importancia de los humedales se divide en funciones, servicios, atributos y procesos de los mismos.

Las funciones son actividades que se presentan de forma natural en los humedales, y que son resultado de las interacciones entre la estructura y los procesos del ecosistema. Entre las funciones más importantes de los humedales tenemos la regulación de las crecidas, la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes, el mantenimiento de la cadena trófica, la estabilización de la línea de costa y el control de la erosión, pues protegen contra la acción de las tormentas y ayudan en la estabilización de las condiciones climáticas locales, la lluvia y las temperaturas (Maltby y Acreman. 2011; Nyman, 2011).

Diversos autores han enumerado y descrito las diferentes funciones que desempeñan los humedales, mencionando que aportan enormes beneficios a la población humana. Estos beneficios pueden ser tanto ecológicos como

económicos. Por ejemplo: abastecimiento de agua (cantidad y calidad); pesca (más de dos tercios de los peces capturados en el mundo se relacionan con el buen estado de las zonas de humedales costeros e interiores); agricultura y ganadería, gracias al mantenimiento de las capas freáticas y a la retención de nutrientes en las llanuras inundables; producción de madera; recursos energéticos, como turba y material vegetal; recursos de vida silvestre; para el transporte; y posibilidades recreativas y de turismo (Ver Tabla 1. Convención Ramsar; Barba-Macias *et al.*, 2006; Malvaréz y Bó, 2006; CONABIO, 2008; Semlitsch y Bodie, 2003).

Los valores de los humedales se miden de acuerdo a los beneficios que aportan a la sociedad, ya sea de forma indirecta (funciones de los humedales), o directamente en el bienestar humano, la calidad ambiental y el albergue de fauna silvestre (Maltby y Acreman. 2011; Nyman, 2011).

Constanza *et al.* (1997), estimaron que el valor total de los servicios aportados por los ecosistemas de humedales asciende a unos 15.5 billones de dólares, lo que representa el 46% del valor de los servicios que los ecosistemas del mundo prestan. Por lo que mantener los humedales y obtener sus beneficios, representa una alternativa más viable, que continuar degradando y perturbando estos ecosistemas.

Tales funciones, valores, atributos, servicios, productos y propiedades sólo se pueden mantener si se permite que los procesos ecológicos de los humedales continúen funcionando. Y si bien los bienes y servicios que aportan los humedales se pueden aprovechar, se debe respetar la capacidad de regeneración de cada especie, y la capacidad de carga de los diversos recursos que aportan. Por lo tanto, cualquier alteración o cambio en las características ecológicas de un humedal, repercute en el deterioro o desequilibrio, de cualquiera de sus funciones, productos, atributos y valores que sustentan a los humedales

Amenazas a los humedales

Los humedales se caracterizan por presentar una gran cantidad de nichos ecológicos, y por lo mismo, alojan una gran diversidad biológica a nivel mundial. Sin embargo, los humedales dependen altamente de los niveles de agua y de los cambios en las condiciones climáticas que afectan la disponibilidad de agua, las cuales influyen en las funciones específicas de los humedales.

A pesar de la importancia que representan los humedales para las poblaciones humanas, estos se ven sometidos a diversos factores que provocan la degradación y pérdida de los mismos, principalmente como resultado de algunas actividades humanas (Tabla 1). Entre ellas, podemos mencionar el aumento en la demanda de tierras agrícolas, asociada al crecimiento poblacional, las cuales demandan espacios para establecerse y una mayor cantidad de productos agrícolas. El desarrollo de infraestructura mal planeada para la regulación de los ríos, las cuales cambian la dinámica de la hidrología de los humedales, provocando un cambio en sus funciones. La introducción de especies exóticas que en algunos casos desplazan a las nativas. La excesiva contaminación, el uso de los humedales como basureros al considerarlos insalubres y tierras desperdiciadas; el aumento en la construcción, instalación y operación de granjas de cultivo de peces y camarón, la construcción de carreteras, embalses, canales que modifican el régimen hídrico y la ignorancia de las poblaciones sobre las funciones y utilidades de los humedales (Gama *et al.*, 2008; Magaña; 2011). Adicionalmente la presión demográfica ha ocasionado que muchos humedales sean drenados para ser ocupados como zonas urbanas (López-Portillo *et al.*, 2010).

En la última década, los humedales también están siendo afectados por el cambio climático, pues es evidente que estos están transformándose en su extensión, distribución y funciones en respuesta a las modificaciones en los patrones de distribución de las precipitaciones (Convención de Ramsar, 1999).

La protección de los humedales requiere, entre otras cosas, del mantenimiento de su cuenca hidrológica: calidad del agua sin desvíos, rellenos y descargas residuales; preservación de flora y fauna sin introducción de especies exóticas; y explotación balanceada de sus recursos. Por ello, en México se cuenta con el apoyo de la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la NOM-022-SEMARNAT-2003 y la Ley General de Vida Silvestre. Desafortunadamente, a pesar de los progresos conseguidos en los últimos decenios, los humedales siguen figurando entre los ecosistemas más amenazados, sobre todo a causa de su continua desecación, conversión y contaminación, así como de la explotación excesiva de sus recursos.

Tabla 1. Valores y funciones de los humedales (Adaptado de: Convención de Ramsar, Saniunjo y Casas 2005 y CONAFOR, 2007).

Función	Descripción
Control de Inundaciones	Retener el agua de fuertes precipitaciones puede evitar inundaciones; almacenar agua en el suelo o su retención en la superficie de los lagos, pantanos, entre otros; lo cual puede reducir la necesidad de construir costosas obras de ingeniería. Además la vegetación de humedales reduce la velocidad del flujo de aguas de las crecientes.
Reposición de Aguas Subterráneas	Contribuyen a recargar acuíferos subterráneos que almacenan el 97% de las aguas dulces no congeladas del mundo. Las aguas subterráneas revisten una importancia crítica para miles de millones de personas como única fuente de agua potable. Además, las aguas subterráneas son la única fuente de agua de muchos programas de riego.
Estabilización de Costas y Protección contra Tormentas	Los humedales costeros, especialmente el manglar en Tabasco, desempeñan una función crítica en la protección de la línea costera contra las mareas de tormenta y otros fenómenos climáticos, así como en el control de la erosión de estuarios y ríos. Reducen la fuerza del viento, las olas y las corrientes. Además, la vegetación costera contribuye a retener nutrientes.
Retención y Exportación de Sedimentos y Nutrientes	Debido a los diferentes tipos de vegetación que en ellos suele encontrarse y dependiendo de su tamaño y profundidad, los humedales también pueden contribuir a la fijación de sedimentos, lo cual favorece la remoción de nutrientes y tóxicos. Los humedales aminoran el paso del agua y estimulan la deposición de nutrientes y sedimentos acarreados por ella. La retención de nutrientes en los humedales hace que ellos sean uno de los ecosistemas más productivos, compitiendo incluso con los sistemas de agricultura intensiva. La supervivencia de los deltas costeros depende de los sedimentos y nutrientes transportados por los cursos de agua; los deltas pueden ser degradados por las estructuras de ingeniería que entorpecen la circulación natural de los sedimentos y nutrientes.
Reservorio de Biodiversidad	Los humedales sirven de refugio a animales que utilizan sus ambientes para reproducirse o alimentarse. Son un hábitat importante para fauna y flora particularmente aves acuáticas y herpetofauna. La biodiversidad de los humedales es un importante reservorio de genes con un potencial económico apreciable para la industria farmacéutica y para

Función	Descripción
	plantas cultivadas con fines comerciales.
Mantenimiento de la calidad del agua y reducción de la contaminación	Los humedales eliminan eficazmente las altas concentraciones de nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo asociados comúnmente a la escorrentía agrícola. Esto es importante para prevenir la eutrofización aguas abajo, proceso que trae consigo un rápido crecimiento de plantas y algas, seguido del agotamiento del oxígeno, lo que afecta a otras especies. Puede ser importante también en lo que atañe a evitar que altas concentraciones de estos nutrientes lleguen a las aguas subterráneas u otras fuentes de agua susceptibles de ser utilizada para el consumo humano.
Mitigación del Cambio Climático	Se estima que los humedales almacenen hasta el 40% del carbón terrestre mundial; las turberas y los humedales arbolados son particularmente importantes pues contribuyen en la captación de emisión de Carbono. De igual forma se ha documentado su relevancia en el mantenimiento del microclima. La conversión de humedales para uso agropecuario y su destrucción ocasionará que se generen en lugar de capturar cantidades de dióxido de carbono resultante de esta actividad productiva, el gas responsable de por lo menos 60% del efecto de aumento de la temperatura mundial.
Productos de Humedales	Se pueden encontrar productos susceptibles de explotarse para uso por el ser humano. Desde fruta, pescado, crustáceos, carne de venado, cocodrilo y otros animales, hasta resinas, madera de construcción, leña, cañas para construir techos y trenzar, forraje para animales, entre otros. La explotación de estos recursos se lleva a cabo a todos los niveles de subsistencia, artesanal y comercial en todo el mundo.
Recreación y Turismo	La belleza natural, así como la diversidad de la vida animal y vegetal de muchos humedales hacen que sean lugares de destino turístico ideales. Muchos de los sitios más notables están protegidos como parques nacionales o bienes del patrimonio mundial y son capaces de generar ingresos apreciables por concepto de turismo y usos recreativos. En algunos países estos ingresos representan un componente importante de la economía nacional.
Valor Cultural	Poseen propiedades especiales como parte del patrimonio cultural de la humanidad, pues alberga vestigios de las primeras grandes culturas que se desarrollaron en el mundo; están relacionados con creencias religiosas y cosmológicas, constituyen una fuente de inspiración estética, sirven de refugios de especies silvestres y forman la base de importantes tradiciones locales.

Los humedales del Estado de Tabasco

El estado de Tabasco ocupa una superficie de 24,661 km², y 191 km de litoral, ubicado en la cuenca de los ríos Papaloapan-Grijalva-Usumacinta al sur del Golfo de México (Sánchez y Barba, 2005). En Tabasco se encuentra una gran riqueza hídrica estrechamente asociada a una gran diversidad de especies animales y vegetales. Se estima que en promedio el 23% de la biodiversidad

nacional de vertebrados y 53 % de los humedales de agua dulce se encuentran en el Estado (Barba, 2005; Sánchez y Barba, 2005). Barba-Macías y colaboradores (2006), han reconocido cuatro tipos de humedales para Tabasco (Tabla 2; Figura 2), los cuales representan el 27.7% de su superficie. El humedal más ampliamente distribuido en el territorio estatal es el de tipo palustre o de pantano de agua dulce (20.7%), en éste se incluye la RBPC, área natural protegida reconocida como de importancia internacional por la Convención de Ramsar. La reserva representa el 12.34% de los humedales palustres.

Tabla 2. Tipos de humedales en el Estado de Tabasco (Adaptado de Barba-Macías *et al.*, 2006).

Tipo de Humedal	Cuerpo de agua	Superficie de ocupación (ha)	% de ocupación
Palustre	Pantanos	508,471.31	20.72
Costero	Mar	96,454.39	3.93
Lacustre	Lagos	42,693.76	1.74
Ribereño	Ríos	33,628.95	1.37
Total		681,248.41	27.76

Fisiográficamente en el territorio estatal, se reconocen 10 subprovincias (regiones ecográficas de escala media), de las cuales al menos siete pueden tener influencia en la formación de humedales (Ortiz-Pérez *et al.*, 2005), principalmente las planicies. Las características del suelo, aunadas a las pocas pendientes provocan poca escorrentía superficial. Sin embargo, existen zonas temporalmente inundables que permiten el establecimiento de comunidades vegetales como tintales, selvas inundables, sabanas y inundables, manglares, entre otras. Así mismo, en las zonas donde los períodos de inundación son más prolongados o son perennes se establecen carrizales, tulares, popales y otros tipos de vegetación propios de los cuerpos de agua dulce (Infante-Mata *et al.*, 2014; Moreno-Casasola *et al.*, 2014).

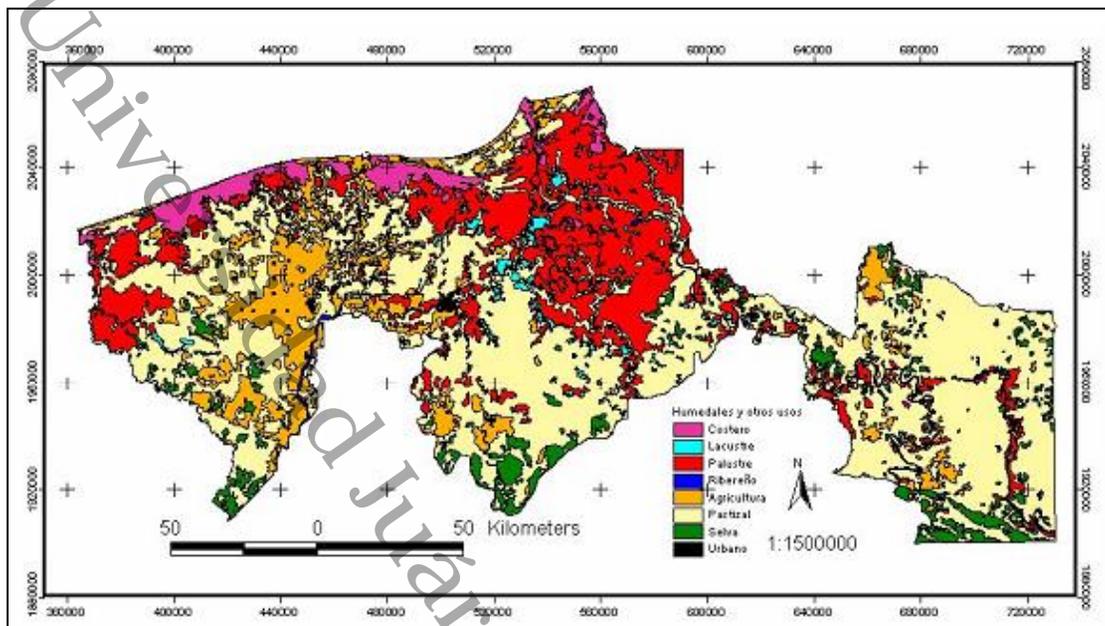


Figura 2. Humedales de Tabasco (Tomado de Barba-Macías *et al.* 2006).

Los sitios arbolados inundables cuentan con una presencia de epífitas mayor respecto al resto de los sistemas, aquí destacan las orquidáceas y las bromeliáceas. Por otro lado, los tulares, popales y carrizales no cuentan en general con una alta diversidad vegetal, ni con un gran componente endémico, pero son sitios especialmente ricos en especies animales que dependen de estos lugares. Los sitios inundables, aún los temporales, albergan una importante cantidad de animales, que incluyen aves migratorias y residentes, mamíferos, reptiles, anfibios, insectos y peces.

Un gran número de estos humedales están asociados a manglares, (como el popal y el tular) (Infante-Mata *et al.*, 2014). Los manglares sirven como áreas de amortiguamiento y aporte hidrológico, son de los ecosistemas más productivos de la tierra y presentan altos índices de biodiversidad, principalmente en el medio acuático, que los hace únicos (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999).

Por los servicios ambientales directos e indirectos que proporcionan los manglares y sus humedales asociados, se infiere que la conservación de este tipo de ecosistemas resultará en mayores beneficios ecológicos, económicos y

sociales para las comunidades de la región. Sin embargo, es posible que algunas de éstas áreas ya no cumplan estrictamente con todas las funciones de un humedal, por ello se propone delimitar y proponer una clasificación de los humedales, en base a criterios ecológicos, hidrológicos y de uso de suelo, que refleje la situación actual en que se encuentran estos ecosistemas (Landgrave, R., & Moreno-Casasola, 2012).

INDICADORES AMBIENTALES DE IMPACTO A HUMEDALES

Los indicadores ambientales (IA) se establecen para la eficiente y temprana toma de decisiones, considerando factores ambientales y económicos (INE, 2000; Quiroga, 2009). Son estadísticas o parámetros de donde se obtiene información oportuna, precisa y fiable acerca del ambiente y el desarrollo sustentable, que al ser usados en el manejo adaptativo, permite mejorar las estrategias y acciones para la conservación de la biodiversidad. Con un sustento científico y técnico sirven para identificar aquellas fuerzas que contribuyen al mejoramiento o la degradación de las condiciones económicas, sociales y ambientales, permitiendo establecer metas precisas de acciones futuras para que a su vez, los gobiernos y la sociedad civil evalúen avances en sus acciones (Schütz *et al.* 2008).

México cuenta con los Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental (SINIAR, 2010). Estos indicadores son definidos como cualquier parámetro medible del medio natural que informe del estado de dicho medio o de aspectos relacionados con él. Pero también hacen referencia a cualquier aspecto económico, social, político, biológico, que informa sobre algún aspecto determinado del medio natural, de la política de medio ambiente o de aspectos económicos y sociales relacionados.

Es necesaria una medición puntual de los IA para cada región o subregión que se estudie. Los indicadores básicos incluyen a los de la atmósfera, agua, suelo, residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos, biodiversidad, recursos forestales y recursos pesqueros, pero cada región tiene diferencias económicas y ambientales que determinará cuáles son prioritarios. Se han generado varios

modelos que incluyen toda la diversidad de indicadores y se ha demostrado que entre mejor es el indicador este es más costoso y difícil de medir. Es por ello que la selección estará en función de la relación con sus objetivos, su fácil medición, su sensibilidad al cambio y si reflejen la información necesaria para realizar la adecuación a las políticas aplicadas (SINIA 2010, SINIAR 2010), y especialmente a las necesidades de la región que análisis.

Los IA son comúnmente medidos de acuerdo a modelos como el de Presión-Estado-Respuesta. Este modelo de tiene una perspectiva, dirigida a temas políticos o sociales, y clasifica los Indicadores en a) **Indicadores de Presión**: que muestran las presiones sobre el medio directas o indirectas; b) **Indicadores de estado** del medio ambiente: se evalúa la calidad del medio (flora, fauna, suelo, aire y agua) y de los recursos naturales asociados a procesos de explotación socioeconómica; c) **Indicadores de Respuesta**: indican el nivel de esfuerzo social y político en materia ambiental y de recursos naturales (Manteiga, 2000; Schütz *et al.*, 2008).

El modelo de IA de estado se divide por niveles para su medición: Paisaje, Ecoregiones y Ecosistemas, y Especies. Existe una diversidad de tipos de indicadores para el desarrollo de la política ambiental. Algunos reflejan el estado del ambiente en relación a un impacto ambiental, otros reflejan la interrelación entre los efectos ambientales sectoriales y las condiciones ambientales, y existen los que informan sobre el costo ambiental asociado a una actividad económica. Los humedales pueden ser evaluados en estos tres niveles:

a) Paisaje

Un paisaje puede ser considerado como una superficie espacialmente heterogénea, representable como un mosaico integrado por un conjunto de unidades homogéneas denominadas parches, los cuales están conformados por áreas naturales o intervenidas por el hombre, entre las cuales se establecen relaciones espaciales y funcionales (Forman y Godron 1986). Los IA a nivel de paisaje pueden construirse a partir de los principios de la ecología del paisaje

definida como una ciencia que trata establecer relaciones entre las interacciones de procesos y patrones; específicamente de cómo, cuándo y cuáles patrones de relaciones ambientales influyen la distribución de los organismos o las acciones de procesos ecológicos, y recíprocamente y cómo las acciones de organismos y los procesos ecológicos reaccionan para influenciar los patrones ecológicos.

Los bioindicadores basados en la ecología del paisaje tienen gran relación con las medidas del paisaje, por lo que la medición de la fragmentación en función del tamaño, forma y distancia de los parches, es recomendable para utilizar como IA, y ofrece importante información si se relaciona con las medidas de biodiversidad de esos parches (Paoletti, 1999). A diferencia de los IA a nivel de ecosistemas, en este nivel se considera tanto los ecosistemas naturales de interés y la matriz que los rodea, así como configuración espacial de fragmentos dentro del paisaje.

La cuantificación de las métricas del paisaje, permiten hacer mediciones puntuales sobre algunos aspectos del paisaje y además pueden servir de base, para la construcción de indicadores más complejos. Existen más de 55 índices conocidos como métricas del paisaje que evalúan la composición y el arreglo espacial de un ecosistema a nivel paisajístico, sin embargo la mayoría de los índices están estadísticamente correlacionados. La forma de los parches, el contraste de borde, densidad y el tamaño de parches de cada una de las clases de vegetación que conforman un paisaje son indicadores fáciles de medir pocas veces correlacionados, con efectos claros sobre la biodiversidad (Li and Reynolds 1994, McGarigal and McComb 1995). El estudio de los patrones e interacciones a nivel de paisaje ha permitido el desarrollo de una serie de indicadores que se han traducido en fórmulas a aplicar sobre una base geográfica mapas que pueden ser evaluados cartográficamente y junto con trabajo de campo se pueden establecer indicadores para monitoreo ambiental (Gama, 2008).

Al hacer un análisis más local, se puede hacer uso de especies indicadoras, que se relacionan con la presencia de flora o fauna, con requerimientos estrictos del hábitat, mismos que pueden ser asociados a los patrones del paisaje. Un

primer diagnóstico de las condiciones ambientales en que se encuentran los diferentes paisajes/geosistemas delimitados para el Estado de Tabasco los presenta Gama (2009); y en el evalúa aspectos como: el grado de modificación, la fragilidad, la vulnerabilidad, la fragmentación, la tasa de deforestación y las posibilidades de restauración, rehabilitación, mejoramiento y conservación. La identificación y evaluación de esos indicadores permiten identificar que una gran superficie del Estado sufrirá alguna modificación como consecuencia del cambio climático. Por lo que estos son IA que demuestran su utilidad en la toma de decisiones de mitigación, planeación y desarrollo de estrategias de adaptación.

b) Ecosistema y Ecoregiones

Los indicadores a nivel de ecosistemas o regiones son construidos por medio de la estimación de la cobertura que abarcan los diferentes ecosistemas claves. Se utilizan principalmente las Áreas Naturales Protegidas (ANP) como representantes de la biodiversidad regional. También se pueden realizar mediciones a ecosistemas claves como las selvas tropicales, humedales, o cualquier ecosistema que ofrezca gran cantidad de servicios ambientales y muestre gran aporte a la biodiversidad.

El seguimiento de estos indicadores parte de los principios de la ecología del paisaje, mediante la medición cuantitativa de los cambios que sufre un ecosistema a través del tiempo y de la representatividad de la biodiversidad dentro de ecosistemas con algún tipo de protección legal. Resumiendo los indicadores regionales propuestos por Mijail-Pérez y Hansen (2005) para la región de Centro América y partiendo de la definición de fragmentación del hábitat de Fahrig (2003), los indicadores a nivel de ecosistema o eco regiones pueden basarse en 1) la medición de la superficie de áreas protegidas gubernamentales y privadas declaradas, terrestres y marino costeras (Bajo régimen legal) y 2) en la evaluación de la fragmentación del ecosistema de interés, entendida como la subdivisión de un hábitat en pequeños fragmentos, donde el proceso implica: a) reducción de la

cantidad de hábitat, b) incremento en el número de parches, c) decremento en el tamaño de los hábitats de parches e incremento del aislamiento de los parches.

Para el primer indicador debe considerarse que la declaración de ANP no significa que los sistemas contenidos representen a ecosistemas naturales, por lo cual debe tenerse cuidado en la selección de las ANP a utilizarse como indicadores. El segundo indicador con base en la fragmentación implica principalmente la medición de la superficie cubierta en la región por algún tipo de ecosistema, y los patrones ecológicos de cambio que experimenta a lo largo del tiempo. Esta última puede evaluarse cuantitativamente en función de índices, que reflejan los cambios que sufre un ecosistema (Gustafson 1998).

c) Especies Indicadoras

Los grupos indicadores son organismos taxonómicamente y funcionalmente afines (Halffter & Moreno 2005). La fauna usada como indicadora debe cumplir con una serie de criterios o requisitos claves. El primer criterio es que la especie debe ser abundante ecológicamente, su taxonomía debe ser conocida y ser tróficamente diversa. Además, debe desempeñar un rol sustancial en los distintos ecosistemas respondiendo fácilmente a cambios ambientales, y que a su vez estos cambios sean fácilmente detectables.

Se agrupan en indicadoras de salud, poblaciones y biodiversidad. Las indicadoras de salud, son aquellas que señalan cambios ambientales o indicadoras de salud ecológica, incluye líquenes, peces, macroinvertebrados, invertebrados, anfibios, entre otros. Las indicadoras de población muestran cambios en las poblaciones, ligadas a ellas. Las de biodiversidad, señalan áreas de alta riqueza de especies, dentro de los que se encuentran los microorganismos, líquenes, hongos, flora y fauna (Isasi-Catalá, 2011). En el caso de la fauna los más comúnmente utilizados son: los anfibios, reptiles, aves, mamíferos y los invertebrados que incluyen miriápodos terrestres, quelicerados e insectos (Andrade, 1998; Herrera y Cuevas, 2003; O'Connell, 2009; Paoletti, 1999).

Cada grupo presenta características que los hacen importantes para su selección de acuerdo a las mediciones que se quieran realizar. Los anfibios son considerados buenos indicadores por sus características anatómicas de alta permeabilidad de la piel, por su ciclo de vida con estadios larvales en el agua y adultos en tierra; así como por su marcada preferencia del hábitat. Las aves son un grupo muy conocido, fácil de muestrear, se encuentran en diferentes niveles tróficos, lo que las hace importante para ser usadas como indicadoras.

Los mamíferos son clasificados en no voladores y voladores, para su análisis por presentar características que los hacen diferentes en sus respuestas. Los mamíferos no voladores como los roedores, son útiles por su gran abundancia en casi todo tipo de ecosistema.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Literatura citada

- Andrade-C., M. G. 1998. Utilización de las mariposas como bioindicadoras del tipo de hábitat y su biodiversidad en Colombia. *Rev. Acad. Colom. Cienci.* 22(84): 407-421. 1998. ISSN 0370-3908.
- Barba-Macías E; J. Rangel-Mendoza y R. Ramos-Reyes. 2006. Clasificación de los Humedales de Tabasco Mediante Sistemas de Información Geográfica. *Universidad y Ciencia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.* 22:101-110.
- Bó, R. F., & Malvárez, A. I. (1999). Las inundaciones y la biodiversidad en humedales. Un análisis del efecto de eventos extremos sobre la fauna silvestre. *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de sudamérica. UNESCO. Montevideo, Uruguay,* 169-184.
- De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (Eds). 2000. Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). SEMARNAP, CONABIO, Comisión nacional del Agua, Instituto de Biología UNAM. Plaza y Valdes Editores. México. 633 pp.
- Delibes, M. y M. Delibes De Castro. 2005. La Tierra herida. ¿Qué mundo heredarán nuestros hijos? Barcelona. Editorial Destino. 176 p.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst,* 34:487–515.
- Forman, R. y M. Godron. 1986. *Landscape Ecology.* John Wiley & Sons, New York. 619 p.
- Gama C., L. (editor) 2008. Informe Técnico: Identificación y establecimiento de indicadores ambientales para los diferentes geosistemas en el estado de Tabasco. Proyecto- FONDOS MIXTOS TAB 2003-C03-11637 Informe Técnico FOMIX. UJAT. CONACYT. 167 p.
- Gama C., L.; A. Galindo A.; E. Moguel. 2008. PROPUESTA DE DOCUMENTO RECTOR DE INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO DE TABASCO. En: Informe Técnico: Identificación y establecimiento de indicadores ambientales para los diferentes geosistemas en el estado de Tabasco. Gama C., L. (editor). Proyecto- FONDOS MIXTOS TAB 2003-C03-11637 Informe Técnico FOMIX. UJAT. CONACYT. Pp 158-165.
- González-Valdivia, N.; S. Ochoa-Gaona, C. Pozo, B. Gordon, L.J. Rangel-Ruíz, S. Arriaga-Weiss, A. Ponce-Mendoza y C. Kampichler. Indicadores ecológicos de Hábitat y Biodiversidad en un paisaje neotropical: perspectiva multitaxonómica. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Bio. ISSN-0034-7744)* Vol. 59(3): 1433-1451.
- Gustafson. E. J. 1998. Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? *Ecosystems,* 1: 143–156.
- Halffter, G y C. Moreno. 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. En pag (5-18). *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma.* G. Halffter, J. Soberon, P. Kolef y A. Melic, Editores. 242 p.

- Herrera, F. y E. Cuevas. 2003. Artrópodos del suelo como bioindicadores de recuperación de sistemas perturbados. *Venezuelas* 11(1-2):67-78.
- INE, 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- Infante-Mata, D., Moreno-Casasola, P., & Madero-Vega, C. 2014. ¿*Pachira aquatica*, un indicador del límite del manglar?. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1): 143-160.
- Isasi-Catalá, E. 2011. LOS CONCEPTOS DE ESPECIES INDICADORAS, PARAGUAS, BANDERAS Y CLAVES: su uso y abuso en ecología de la conservación. *INTERCIENCIA VOL. 36 N° 1. PÁGS. 31-38.*
- Landgrave, R., y Moreno-Casasola, P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental*, 4(1):19-35.
- Li, H and J. F. Reynolds. 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos* 73:4-280.
- López-Portillo, J., Vásquez V., M., Gómez, L. y Priego A., G. 2010. Humedales. En E. Florescano y J. Ortiz (Coords.): Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Xalapa: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. México: Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales, 2011. 352 p.
- Maltby, E. & M. C. Acreman. 2011. ECOSYSTEM SERVICES OF WETLANDS: pathfinder for a new paradigm, *Hydrological Sciences Journal*, 56:8, 1341-1359, DOI: 10.1080/02626667.2011.631014.
- Manson, R. H. EJ Jardel P., M. Jiménez-Espinoza & CA Escalante-Sandoval. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impacto sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. *R. Dirzo, R. González e IJ March (Compiladores) Capital Natural de México*, 2, 131-184.
- Manteiga, L. 2000. Los Indicadores Ambientales como Instrumento para el Desarrollo de la Política Ambiental y su Integración en otras Políticas. *Estadística y Medio Ambiente*. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla. Pp: 75-87.
- McGarigal, K and W. C. McComb. 1995. Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. *EcolMonogr* 65:235-60.
- Medellín, R. A., M. Equihua., and M. A. Amin. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforests. *Conservation Biology*, 14(6): 1666-1675.
- Meyer. C. F. J., and E. K. V. Kalko. 2008. Assemblage-level responses of phyllostomid bats to tropical forest fragmentation: land-bridge islands as a model system. *Journal of Biogeography*, 35, 1711-1726.
- Mijail-Pérez, A y P. P. Hansen. 2005. Primera propuesta de indicadores regionales de biodiversidad para la región centroamericana.

- Moreno-Casasola, P., Rosas, H. L., & Rodríguez-Medina, K. 2014. From tropical wetlands to pastures on the coast of the gulf of Mexico. *Pastos*, 42(2), 185-217.
- Nyman, J. A. 2011. ECOLOGICAL FUNCTIONS OF WETLANDS. In: E LePage, Ben A. (editors). *Wetlands: Integrating Multidisciplinary Concepts*. Louisiana, USA. Pp 115-128.
- O'Connell, T. 2009. Advancing broad scale ecological assessment using bird community indicators. *Proceedings of the Fourth International. Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics* 138–147.
- Paoletti, M. G. 1999. Using bioindicators base on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 74: 1-18.
- Pardo, L. L. C., J. E. Arroyo., F. Quiñonez. 2000. Observaciones de los escarabajos copronecrófagos y sapromelífagos de San Luis Robles, Nariño. *Boletín museo de Historia Natural*. 113-139.
- Quiroga, R. 2009. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. *Manual Series: Naciones Unidas, CEPAL*. Chile.
- SINIA. 2010. Sistema Nacional de Información Ambiental, NICARAGUA. Disponible en http://www.sinia.net.ni/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=28. Consultado el 20 de noviembre de 2010.
- SINIAR 2010. Sistema Nacional de Indicadores Ambientales. Estructura del SNIA. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/SNIA/Pages/Estructura.aspx>. Consultado el 20 de Noviembre de 2010.
- Schütz, G., S. Hacon., H. Silva., A. R. Moreno Sánchez., K. Nagatani. 2008. Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y el Caribe. *Rev Panam Salud Pública*. 2008;24(4):276–85.
- Vilches, A., & Pérez, D. G. 2011. El Antropoceno como oportunidad para reorientar el comportamiento humano y construir un futuro sostenible. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 394-419.
- Yáñez-Arancibia, A. y Lara-Domínguez, A. L. (eds). 1999 *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México; UICN/ORMA CostaRica; NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.

Revista Forestal Universidad Autónoma de Chapingo.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN, DELIMITACIÓN ESPACIAL Y CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES EN LA PLANICIE TABASQUEÑA, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN POR LA EXTRACCIÓN PETROLERA.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas únicos que desempeñan funciones ecológicas fundamentales. Son considerados zonas de transición entre sistemas que no son completamente acuáticos ni terrestres. Estos tipos de ecosistemas están presentes donde la capa freática se halla cerca de la superficie terrestre o en donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Convención de Ramsar, 1971). La clasificación en ecotipos de los humedales, al ser evaluados en una perspectiva ecosistémica, pueden ser usados para identificar una jerarquía de sitios y sus características de uso y manejo (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2002; Scott & Jones 1995).

En el estado de Tabasco se encuentran humedales de importancia internacional. La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC), con 302,706 ha forma parte de los 112 humedales de importancia internacional reconocidos para México por la Convención de Ramsar (2008). Los pantanos cumplen importantes funciones dentro del estado como la captación de agua, regulación de la cantidad y calidad de agua, hábitat para aves acuáticas, peces y anfibios, recreación y recursos para las necesidades humanas. Se estima que en promedio el 23% de la biodiversidad nacional de vertebrados y 53 % de los humedales de agua dulce se encuentran en el Estado (Barba, 2005; Sánchez y Barba, 2005).

En Tabasco no todas las zonas inundables cumplen su función como humedal. Los humedales dependen altamente de los niveles de agua y de los cambios en las condiciones climáticas que afectan la disponibilidad de agua, las cuales influyen en las funciones específicas de los humedales. Las mayores extensiones de humedales se encuentran en las latitudes elevadas y en el trópico,

por lo que las diversas formas de desarrollo de cada país han provocado la destrucción de grandes superficies de humedales. En zonas donde el relieve es relativamente plano, en cortos periodos de tiempo se acumula el agua proveniente de la precipitación y el escurrimiento superficial de las zonas más altas a las zonas más bajas o con depresiones. Sin embargo estos sitios no todos cumplen con las funciones propias de un humedal.

Por los servicios ambientales directos e indirectos que proporcionan los manglares y sus humedales asociados, se infiere que la conservación de este tipo de ecosistemas resultará en mayores beneficios ecológicos, económicos y sociales para las comunidades de la región (Landgrave, R., & Moreno-Casasola, 2012). Sin embargo, es posible que algunas de éstas áreas ya no cumplan estrictamente con todas las funciones de un humedal, por ello se propone Caracterizar las áreas de humedales dentro de la planicie Tabasqueña. Por medio de una identificación y delimitación cartográfica; así como una clasificación de los humedales, en base a criterios ecológicos, hidrológicos y de uso de suelo, que refleje la situación actual en que se encuentran estos ecosistemas. Para con ello proponer medidas de restricción de su uso en la industria petrolera.

METODOLOGIA

Definición del área de estudio

El área de estudio seleccionada se encuentra en las cuencas hidrológicas del Río Grijalva y Río Tonalá (Figura 1). Para la delimitación se utilizó la capa de cuencas hidrológicas (CNA, 1998), a esta capa se le sustrajo el área de las cuencas que se encontraban dentro del estado de Tabasco. Se realizó una intersección con la capa de llanura costera inundable, que pertenece a la capa de Provincias fisiográficas (INEGI, 2000). Se hizo corte utilizando como referencia el polígono del Estado de Tabasco, tomando como referencia la capa de Marco Geoestadístico estatal 2013 versión 6.0 (INEGI, 2013). El área correspondiente a la RBPC, tomando el polígono de la capa de Áreas Naturales Protegidas

Federales (CONANP, 2013). La RBPC se extrajo del área de estudio debido a que es una reserva y que su plan de manejo contempla la regulación de actividades de la industria petrolera (INE, 2000).

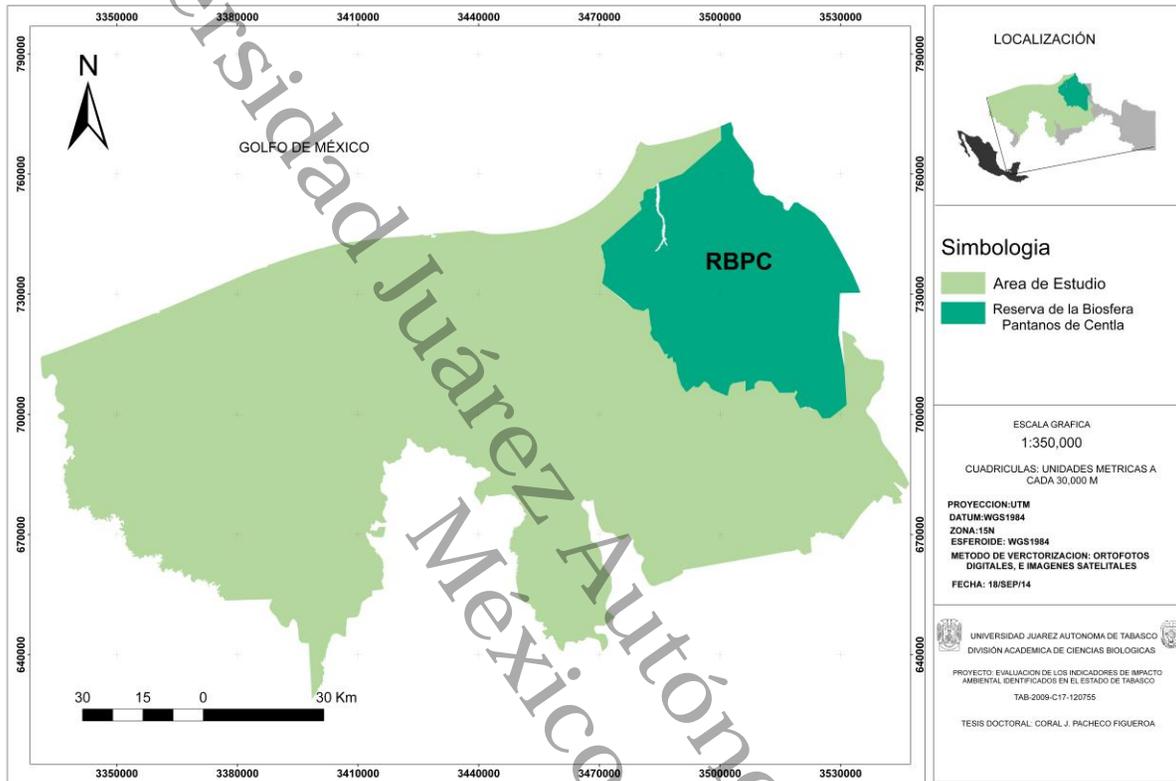


Figura 1. Delimitación de la planicie Tabasqueña seleccionada para caracterizar el área de Humedales.

Determinación de criterios para la delimitación y clasificación de los tipos de humedales

Uno de los objetivos de la delimitación y clasificación de humedales es establecer fronteras entre los ecosistemas naturales para fines de inventario, evaluación y manejo. En nuestro País, no existe un consenso sobre cuál debería ser el sistema clasificatorio que debe utilizarse para un Inventario Nacional de Humedales (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna, 2002). Por lo tanto, en el presente

trabajo se desarrolla una propuesta de clasificación específica para las condiciones del estado de Tabasco. Primero se hace una delimitación de los humedales en base a los tipos de vegetación; y posteriormente, se hace una categorización de acuerdo a las funciones y el tipo de vegetación presente, finalmente se propone una clasificación basada en los siguientes criterios:

1) Criterio Botánico.

Con el fin de reducir las categorías de vegetación, presente en los humedales, la vegetación se agrupo en manglar, vegetación hidrófita (tulares, popales, carrizales, flotante), Tíntales-pukté- palmares y pastizales inundables (Tabla 1). Por las características que estos tipos de vegetación presentan en los inventarios de humedales este criterio adquiere una clara importancia al momento de identificar, delimitar y valorar a los sistemas ecológicos.

Tabla 1. Tipos de vegetación presente en los humedales identificados en la Planicie Tabasqueña (Adaptado de Pacheco *et al.*, 2008).

Tipo de vegetación	Descripción
Manglar	<p>Las especies que predominan en los manglares de la planicie tabasqueña son: mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>), mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>), manglenegro (<i>Avicennia germinans</i>), aunque puede presentarse también mangle botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>). Es común encontrarlas asociadas, en un proceso sucesorio dependiendo del nivel de las mareas que las inundan o los bañan, pero estableciendo dominancia de una especie o de una asociación predominante de dos o tres especies dependiendo del lugar en donde se hayan asentado.</p> <p>En el polígono se identificaron como comunidades vegetales que presentan estratos arbustivos y arbóreos, que llegan a alcanzar 25 m de altura, y pueden encontrarse como densos macizos de vegetación compuestos de una o varias especies de mangle, la distribución, densidad y la dominancia se ve influida directamente por las concentraciones de salinidad y materia orgánica presentes en el sitio.</p>
Tíntales, pukté, palmares	<p>Estos los encontramos formando manchones pequeños y aislados, entre las amplias extensiones de los popales o tulares, asociado a este tipo de vegetación encontramos jobo (<i>Spondias mombín</i>), macuilí (<i>Tabebuia rosea</i>), guano redondo (<i>Sabal mexicana</i>), jahuacte (<i>Bactris balanoidea</i>). Su altura varía de 4 a 15m.</p>

Tipo de vegetación	Descripción
Vegetación hidrófita	Este tipo de vegetación en general forma masas densas monoespecíficas, en aguas relativamente permanentes; podemos encontrar los siguientes tipos de vegetación hidrófita principalmente:
	<p>1. Vegetación hidrófita emergente, Se encuentran enraizadas en el suelo y gran parte de la parte vegetativa y las estructuras florales sobresalen del agua; se caracterizan por presentarse como masas puras de espadañal o neal (<i>Typha latifolia</i>), popal (<i>Thalia geniculata</i>), chintul (<i>Cyperus articulatus</i>), ciba (<i>Cladium jamaicense</i>). Estas son las que ocupan la mayor superficie de los humedales identificados, se caracterizan por presentar grandes extensiones continuas, a lo largo de canales, ríos y particularmente bordeando toda la zona de manglar, su altura varía pero en general se encontraron entre 3 a 5 m de altura.</p>
	<p>2. Vegetación hidrófita flotante, se encuentra en ambientes lacustres y se asocia también a los palustres donde convive con el espadañal. Algunas de las especies que la conforman son: el jacinto (<i>Eichornia crassipes</i>), la oreja de ratón (<i>Lemna minor</i>), la hoja de sol (<i>Nymphaea ampla</i>, <i>N. odorata</i>), <i>Pistias tratiotes</i>, <i>Nymphoide shumboldtiana</i>, <i>Heterantha</i> sp.</p> <p>Este tipo de vegetación los encontramos asociados generalmente a los canales y a las lagunas, fue muy común encontrarlas como manchones aislados. Y algunas desplazándose por los ríos como el lirio (<i>Eichornia crassipes</i>).</p>
	<p>3. Vegetación subacuática (hidrófitas sumergidas), estas son formas de vida enraizadas al sedimento y todas sus partes vegetativas se encuentran sumergidas, está representada por el sargazo (<i>Ceratophyllum demersum</i>, <i>C. echinatum</i> y <i>Utricularia</i> sp.), <i>Cabombasp.</i>, <i>Vallisneria americana</i>, <i>Salvinia</i> sp.; <i>Myriophyllum spicatum</i>, <i>Potamogeton</i> sp., <i>Najas</i> sp., <i>Utricularia</i> sp, etc.</p> <p>Las encontramos asociadas a la vegetación hidrófita emergente y a la flotante, en los canales y lagunas.</p>
Pastizales inundables	Agrosistemas dominados principalmente por gramíneas, situados en terrenos de suelos profundos, arcillosos, que se inundan durante el período de lluvias, y durante la época seca se endurecen al perder el agua. En su caso la anegación de estos pastizales se puede dar por precipitación, por el nivel freático o por el desbordamiento de cuerpos de agua. Los pastizales que presentan periodos cortos de inundación se caracterizan por presentar especies herbáceas de gramíneas, y los que permanecen inundados la mayor parte del año, presentan elementos de vegetación hidrófita. Se encuentran asociados a los ríos, manglares y a los grandes manchones de vegetación hidrófita.

2) Criterios Hidrológicos.

Cuerpos de agua

Se identificaron cartográficamente los cuerpos de agua permanentes y temporales presentes en el polígono del proyecto.

Pulso de inundación

El análisis de los pulsos de inundación consistió en delinear el límite máximo y mínimo de inundación de un área (Figura 2), para identificar las superficies que permanecen inundadas durante casi todo el año, de aquellas que se inundan por acción de la crecida de ríos, lagos, lagunas, canales. De tal manera que:

- Superficie **mínima de inundación**, se considera parte de un humedal con especies características. Esta superficie puede estar representada por el humedal en sí mismo.
- Superficie **máxima de inundación**, se considera que es la zona máxima de inundación del humedal, la cual no presenta en general especies características de los humedales propiamente, si no que se consideran que son inundados por acción del desbordamiento.

Las áreas de inundación se encuentran distribuidas principalmente en zonas donde el relieve es relativamente plano, esto se da como consecuencia de la acumulación de agua proveniente de la precipitación y el escurrimiento superficial de las zonas más altas a las zonas más bajas o con depresiones.

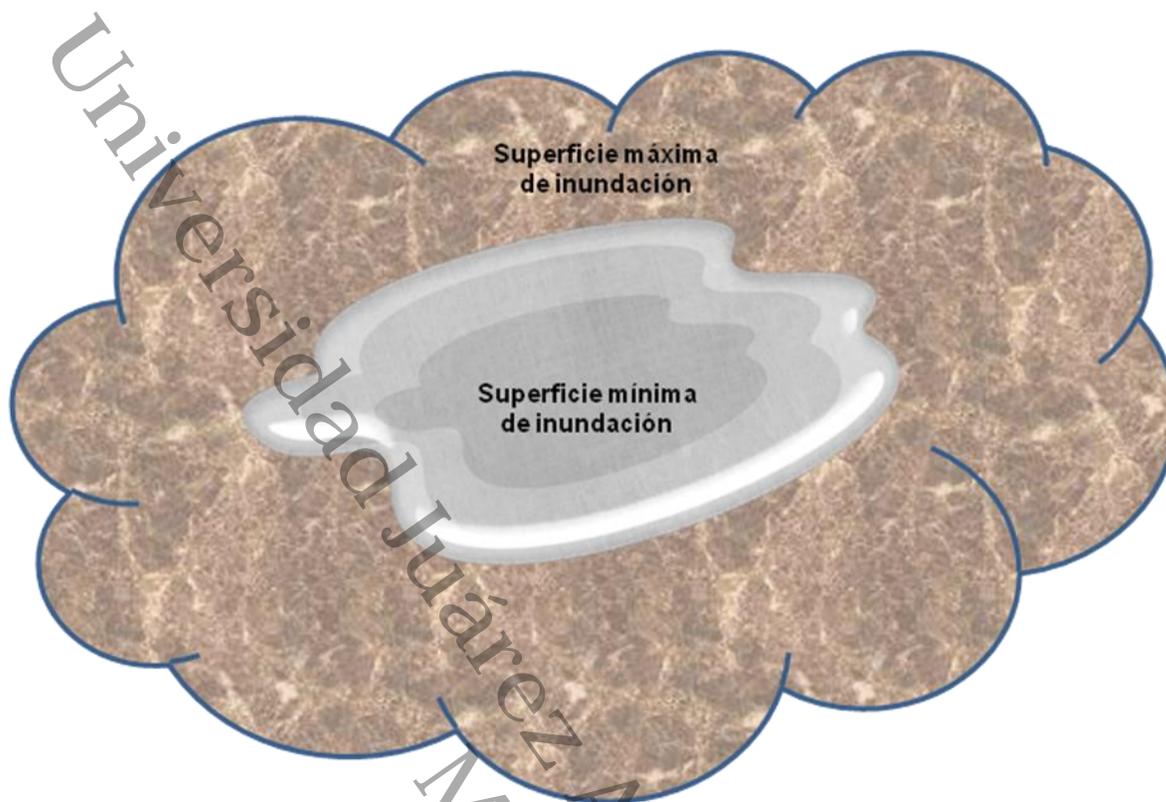


Figura 2. Representación esquemática del pulso de inundación.

3) Criterio de Uso de Suelo.

Este criterio se basa fundamentalmente en evaluar el uso de suelo que dan al humedal para definir la viabilidad de conservación. En caso que el humedal presente una actividad de tipo extensivo (ganadero, agrícola), su viabilidad será mucho menor a aquel en donde la actividad es nula o mínima. Las áreas de con actividades de tipo extensivo, están deforestadas y conforman ambientes hostiles para la flora y la fauna de hábitat de calidad, por lo que son áreas altamente fragmentadas y con poca viabilidad para la conservación de biodiversidad.

Inicialmente, este criterio se basó en el Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco (POEET, 2006), el cual tiene como función principal la regulación de las actividades humanas dentro del territorio tabasqueño. El nivel de regulación aplicado por el POEET, permite también dilucidar en un área

si esta tiene la vocación agrícola o de conservación; debido a que estas categorías están elaboradas bajo varios criterios ecológicos, propuestos en el programa.

El Uso de Suelo fue considerado como agropecuario o no agropecuario de acuerdo a lo observado en la cartografía, además se verificó en el POEET, si correspondía a zonas de pastizales, o de uso intensivo, además de verificaciones en el campo. Este criterio se aplicó en las áreas de pastizal, ya que las áreas de vocación de uso agropecuario, consideramos que era un indicador de que son áreas que no permanecen inundadas todo el año, y que generalmente reciben un manejo intensivo con siembra de pasto y desmonte de cualquier vegetación hidrófita.

4) Criterio Ecológico.

Este criterio pone especial atención a la presencia de zonas compactas de vegetación para evaluar el nivel de conservación, perturbación y fragmentación de los humedales; además de considerar la presencia de especies de interés ecológico y conservación, que puedan resultar afectadas por actividades antropogénicas. Por lo tanto, es importante considerar:

- La colindancia del ecosistema
- El grado de fragmentación
- La viabilidad del ecosistema
- Resiliencia del ecosistema
- Condición o grado de perturbación (ecosistema impactado o no impactado).

Colindancia

Es un criterio basado en el potencial para mantenimiento de sus funciones ecológicas, que puede tener un fragmento de humedal unido a otros fragmentos. En los humedales unidos, se favorece el incremento de las funciones ecológicas que como humedal aislado no puede ofrecer. Los parámetros a considerar son el

porcentaje y tipo de colindancia. Humedales unidos a manglares en más del 50% de su periferia, actúan como áreas de amortiguamiento para el manglar.

Fragmentación

La fragmentación fue considerada como el porcentaje de claros dentro de la cobertura de vegetación, con coberturas inhóspitas (suelos libres de vegetación, pastizales, infraestructuras humanas) o que no son propias del humedal (Hilty *et al.*, 2006; Morera *et al.*, 2007). Se consideró que fragmentaciones mayores al 10% eran poco viables, pues reduce el potencial de un humedal.

En ambientes tropicales donde se registran altas tasas de deforestación (FAO, 1987), no ocurre solamente una disminución de la cobertura forestal, sino una fragmentación que resulta en un mosaico de fragmentos de pequeñas dimensiones y de inferior calidad. Estos fragmentos remanentes están normalmente rodeados por una matriz agrícola o por grandes extensiones de pastos de ganadería extensiva.

Viabilidad del ecosistema

Esta fue definida como el área que permite ofrecer recursos para una población o que en conjunto, cumple con sus funciones ecológicas (dinámica poblacional, procesos de fuente y sumidero y complementación y suplementación de algunas especies), por lo que se seleccionaron los polígonos continuos de vegetación de un área mínima de 100 ha (Bennett, 2004; Mendoza *et al.* 2008).

Resiliencia del ecosistema

Para los propósitos de este estudio, la resiliencia de los ecosistemas se tomo de la información proporcionada en el estudio realizado por las MIAs Regionales Delta Grijalva, Macuspana, Guadalupe Puerto-Ceiba y Ogarrio Magallanes (PEMEX y UJAT, 2006a, 2006b, 2006c, 2006d), en donde se refiere

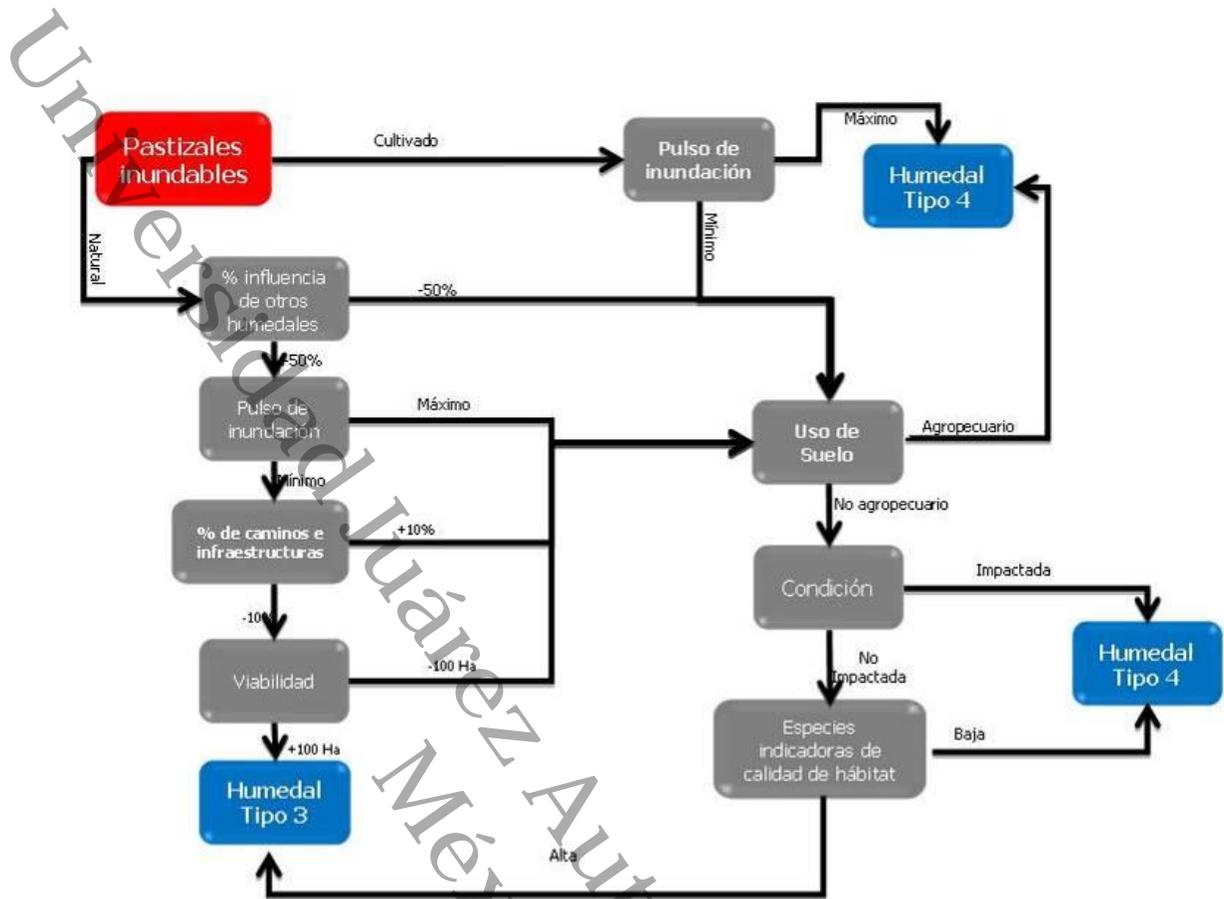


Figura 4. Diagrama de flujo para clasificar a los humedales (continuación).

Categorización de los Humedales

En las definiciones presentadas anteriormente observamos que de acuerdo a lo mencionado por la Convención de Ramsar todos los tipos de vegetación que se encuentran inundados pueden ser un humedal. Sin embargo, si tomamos en cuenta sus funciones, encontramos varias categorías. Con el fin de garantizar el mantenimiento de sus funciones y realizar un manejo racional de los mismos, se propone una categorización, como lo considera Brison (2004), quien menciona que una clasificación regional requiere de una categorización de acuerdo al área sobre la cual se está trabajando, debido a la gran variedad en las características que influyen en un ecosistema de este tipo

La categorización es más amplia que la clasificación de los tipos de humedales definidos en este documento, ya que las categorías se seleccionaron de acuerdo al tipo de vegetación y a las funciones con que cada humedal cumple, quedando como categorías globales: el **humedal**, la **zona de transición** y los **pastizales inundables** (Tabla 2). Esta categorización permite un manejo racional de acuerdo a las características del tipo de humedal, basadas en la vegetación, los procesos que se llevan a cabo en ellos y funciones ambientales que brindan.

Humedal es la primera categoría, dentro de la cual se incluye a la vegetación hidrófita, el manglar, su zona de salvaguarda, tintales y Pukté, todos estos correspondientes a los tipos 1, 2a, 2b y 2c. En esta categoría, los humedales tipo 1 y 2a, conservan casi integra las funciones de los humedales, en el caso de los 2b, han perdido algunas de las funciones, pero aún se consideran que tienen un efecto en la región, y el humedal tipo 2c, ha perdido gran parte de sus funciones.

Zona de Transición es la segunda categoría definida, dentro de la que se incluye al tipo 3, representados por pastizales inundables, con algunos relictos o pequeños fragmentos aislados de vegetación hidrófita. Esta categoría se encuentra en una etapa, como su nombre lo indica, de cambio a un pastizal inundable exclusivo, es un área que podría restaurarse si se permitiera la recuperación de la vegetación hidrófita. Las funciones como humedal que presenta esta categoría ya se han visto disminuidas en gran medida, y ya no cumple con el control de flujo hidrológico, retención de sedimentos tóxicos, protección contra tormentas, soporte de cadenas tróficas, reservorios de biodiversidad, recreación, corredores biológicos o mitigación del cambio climático.

Pastizales Inundables, la tercera categoría incluye exclusivamente áreas de pastizal, que ya no presentan características de humedales como tal. Estas zonas generalmente acumulan agua por lluvias sólo en una época del año. Las principales funciones que lo definirían como un humedal se han perdido, no

conserva ninguna de las características de los humedales, ni cumple con ninguna de sus funciones, atributos o servicios.

Tabla 2. Categorización de humedales de la planicie Tabasqueña.

Categorías	Tipo de vegetación	Tipo humedal
Humedal	Manglar	1 Manglar/Tintal/Pukté/área de salvaguarda del manglar.
	Vegetación hidrófita	2a Colindancia con la zona de salvaguarda del humedal tipo 1 y/o parches de vegetación mayor a 100 ha y fragmentación menor del 10%.
		2b Vegetación hidrófita mayor a 100 ha, con colindancia <10% con humedal tipo 1.
		2c Menor a 100 ha, con fragmentación mayor al 50%.
Zona de transición	Pastizales inundables	3 Zonas de transición de Vegetación hidrófita a pastizales.
Pastizales inundables	Pastizales inundables	4 Pastizales inundables.

Fotointerpretación

Selección de imágenes

Para la elaboración del inventario de los humedales de la planicie Tabasqueña, se emplearon ortofotos del INEGI de 1995-2001; así como imágenes de satélite SPOT, lo más actualizadas disponibles. Las imágenes SPOT fueron provenientes de la Estación de Recepción México de la Constelación SPOT (ERMEXS) administradas por la Secretaría de Marina-Armada, correspondientes a los años 2007 y 2008. Presentan una resolución espacial de 10 m, cubren un área de 60 x 60 km. y son pancromáticas (Figura 5a). Las imágenes SPOT cubrían la totalidad del área del polígono de la planicie Tabasqueña.

Digitalización en pantalla

En dichas imágenes se identificaron y digitalizaron en pantalla los humedales de acuerdo a los tipos de vegetación antes mencionados (Figura 5b), sirviendo de base de referencia inicial el mapa de vegetación del MIA Regional. Se

realizó la fointerpretación que permitió reconocer y delimitar los pulsos de inundación en dichos humedales, esto con el objetivo de determinar cuáles áreas permanecen inundadas la mayor parte del año. Se delimitaron las coberturas de humedales, identificando los diferentes tipos de cobertura que pertenecen a un humedal, basándose en el sistema clasificatorio propuesto, para delimitar las diferentes coberturas en el siguiente orden:

1. Cuerpos de agua.
2. Pulsos de inundación.
3. Cobertura de manglar y su área de salvaguarda (190 m).
4. Vegetación hidrófita (popal, tular, tintal, tasiste, flotante, cyperaceas, pastizales inundables).

Una vez digitalizadas, se calculó la superficie de ocupación (en hectáreas) de cada una de las coberturas.

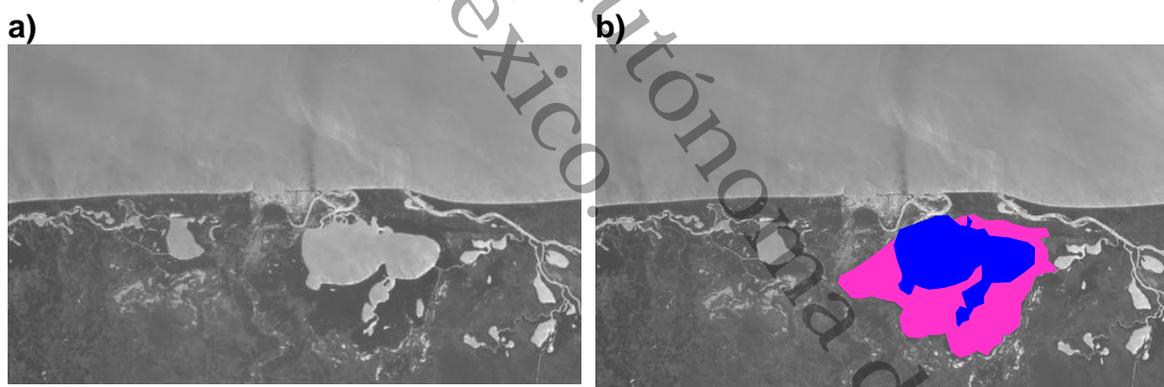


Figura 5. Ejemplo del proceso de digitalización: a) imagen SPOT y b) digitalización en pantalla de la cobertura de manglar.

Aplicación de criterios

Para la clasificación de los diferentes tipos de categorías de humedales propuestos, se aplicaron los criterios de decisión a cada uno de los humedales

identificados. Para ello, se siguió el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3 y 4. A continuación se describe el proceso de selección.

Se tomó como criterio inicial el **tipo de vegetación**, que como se menciona en la Tabla 1, las asociaciones de vegetación a seleccionar fueron manglar y vegetación con baja resiliencia (Tintal), vegetación hidrófita (Tulares, popales, carrizales, flotante, entre otras), y pastizales inundables. Los pastizales inundables a su vez se dividieron en naturales o inducidos. Los manglares, tintales y Pukté, por su importancia ecológica, fueron definidos como humedales tipo 1. En el caso particular del manglar se incluye la **franja de protección** de 100 m definida por la NOM-022-SEMARNAT-2003 en la especificación 4.14, y que se medirá a partir del límite de la comunidad vegetal. Además de una **franja de prevención** de 90 m, esta franja adicional es tomada del valor máximo de radio de afectación por un evento de derrame o explosión, estimado en las simulaciones de riesgo integradas a la MIA Regional Delta Grijalva (COVINSE, 2007). Ambas áreas suman un total de 190 m, los cuales forman parte de lo que denominamos un **área de salvaguarda** (Figura 6).

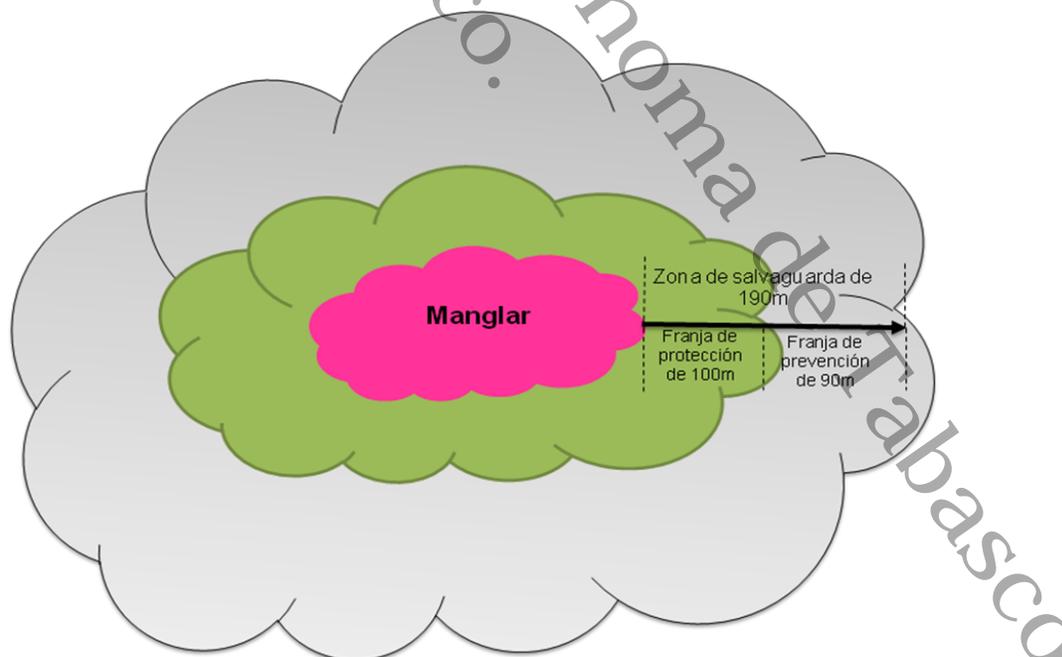


Figura 6. Representación esquemática del área de salvaguarda del manglar.

El siguiente criterio fue el porcentaje y **tipo colindancia**, humedales unidos a manglares en más del 50% de su periferia, actúan como áreas de salvaguarda para el manglar, por lo que se consideraron como humedales tipo 1; si la colindancia es con los otros tipos de humedales, se verifican los otros criterios de fragmentación y viabilidad. Si la colindancia es menor al 50% se aplican los otros criterios de fragmentación, viabilidad y condición.

Fragmentación, para distinguir entre los subtipos de humedales tipo 2 se estimó la fragmentación dentro del parche de vegetación hidrófita, a través del porcentaje de claros de vegetación que no era hidrófita o que presentaba una cobertura que reduce las funciones del humedal. Se basó en el criterio de que una vegetación con menos del 10% de claros puede regenerarse rápidamente, y fomentar el incremento de diversidad y renovación de vegetación (Morera *et al.*, 2006). Es decir, usando un criterio conservador, para estos humedales se determinó como porcentaje el 10% para considerar un área como fragmentada o no.

Para estimar el grado de fragmentación de los humedales, se realizó un análisis espacial en el que se calculaba el porcentaje de caminos e infraestructura, drenes, estanques acuacultura, y áreas de uso ganadero, es decir el número de claros, presentes en el área. Para ello, se estimó el área ocupada por el número de caminos, infraestructura petrolera, y otros claros en cada polígono dentro de los tipos de vegetación. Posteriormente se calculó el porcentaje de éstos en relación a la superficie que ocupaba el polígono del tipo de vegetación. De tal manera que la fragmentación de los polígonos se clasificó en 3 categorías:

- Fragmentación baja (menor al 10%)
- Fragmentación media (entre el 10 y 50%)
- Fragmentación alta (mayor del 50 y hasta 70%). Porcentajes mayores al 70% ya no correspondían a humedales tipo 2.

Viabilidad del ecosistema, definida como el área que permite ofrecer recursos para una población o que en conjunto, cumple con sus funciones ecológicas (dinámica poblacional, procesos de fuente y sumidero y complementación y suplementación de algunas especies), por lo que los polígonos continuos de vegetación de un área mínima de 100 ha fueron seleccionados como de alta viabilidad; mientras que los que tenían menos de 100 ha, se consideraron como de baja viabilidad.

Condición de impacto, a mayor densidad o presencia de elementos, se observa una condición impactada, si estos elementos se ubican en las áreas centrales, el impacto es aún mayor. Esta condición se mide de acuerdo a la superficie impactada en el fragmento.

Pulsos de Inundación, este criterio se aplicó principalmente a los pastizales inundables, las superficies máximas de inundación correspondieron a humedales tipo 4, mientras que la clasificación de las superficies mínimas, depende del uso de suelo y su condición de impacto, lo cual las asignaría como humedal tipo 3 o como humedal tipo 4.

El **Uso de Suelo** fue considerado como agropecuario o no agropecuario. Se aplicó en las áreas de pastizal, ya que al tener vocación de uso agropecuario, son un indicador de áreas que no permanecen inundadas todo el año, y que generalmente reciben un manejo intensivo con siembra de pasto y desmonte de cualquier vegetación hidrófita. Es por esto que el uso de suelo se vuelve un criterio para determinar si es un pastizal inundable o humedal tipo 4 o una zona de transición entre humedal y pastizal inundable o humedal tipo 3.

Para hacer la valoración de cada criterio y realizar la clasificación de humedales, se colocó un valor de importancia a cada uno de los criterios, de tal manera que el tipo de vegetación tiene un peso del 30% sobre el valor total de los criterios; en segundo lugar se encuentra el porcentaje de fragmentación con un 20%, posteriormente se encuentran la viabilidad y uso del suelo con 10% cada

uno. El tipo y porcentaje de colindancia representan un 7.5% respectivamente; por último, los criterios de resiliencia, condición de impacto y pulso de inundación, contribuyeron con uno 5% cada uno. Es importante hacer notar que a los manglares se les dio el porcentaje más alto, i.e. el 100%, por su importancia ecológica, y normatividad vigente.

Elaboración de cartografía preliminar

Se identificaron las coberturas de vegetación y se seleccionaron y aplicaron las categorías de identificación de los humedales tipo 1, 2 (a, b y c), 3 y 4. Cada parche identificado cuenta con los datos de vegetación, tipo de humedal al que pertenece, y del POEET. Como una nueva capa en esta cartografía se elaboraron los mapas de los humedales, utilizando el programa ArcView 3.3 y ArcInfo 9.2.

Verificación en campo

Una vez terminada la digitalización de los diferentes tipos de humedales y aplicados los diferentes criterios, se realizaron recorridos de campo para corroborar que la información de la cartografía era correcta. La verificación consistió en visitar por lo menos 30 puntos de verificación, seleccionados previamente en la cartografía. Estos puntos de verificación representaban cada una de las clasificaciones de manejo propuestas. Además, se realizó un sobrevuelo en el área del proyecto, para corroborar la información. La verificación se realizó utilizando un geoposicionador (GPS) Garmin modelo GPSmap 60, con error de $\pm 5\text{m}$. De manera general, en el campo se verificaron:

- Fragmentos de vegetación que por sus características no sea identificable en la cartografía.
- Fragmentos de vegetación que presenten mayores cambios su forma y tamaño actual.
- Fragmentos de vegetación de interés particular, para conocer las características del mismo y determinar su clasificación.

- Tipo de uso de suelo.

Elaboración de cartografía final

Una vez hecha la verificación en campo, se validó y, en su caso, se rectificó la información preliminar, sobre la cual se hicieron las correcciones necesarias para elaborar la cartografía final. Para ello se emplearon los programas ArcView 3.3 y ArcInfo 9.2. Se calcularon las áreas que ocupaban los diferentes tipos de humedales y se realizó su ubicación. Los cambios más evidentes correspondieron a diferencias en las dimensiones de algunas áreas de vegetación y al tipo de uso de suelo actual.

RESULTADOS Y DISCUSION

El principal resultado de este proceso es la obtención de una cartografía de los ecosistemas considerados como humedales dentro de la planicie Tabasqueña. La cartografía incluye la delimitación actual de los humedales así como la clasificación propuesta.

Delimitación de los humedales de la Planicie Tabasqueña

El Estado tiene una extensión aproximada de 2'469,460.7ha, de este total se identificaron para este estudio 1'351,660.07ha que corresponden a alguna zonas de humedales de acuerdo a nuestra clasificación. La vegetación de pastizal inundable fue la que ocupó la mayor superficie, con una extensión de 698,546.26ha, lo que representa el 51.68 % del área total. Se observó que estos pastizales son utilizados principalmente para la ganadería, considerada como la actividad productiva más extendida. Algunos pastizales se encontraron asociados con vegetación hidrófita, mientras que en otro, como en el caso de la laguna Santa Anita, se encontraron asociados a fragmentos de manglar. No obstante, estos pastizales son utilizados para la ganadería de carácter extensivo. Estos pastizales

se encuentran adaptados a zonas bajas de inundación temporal, y en algunos casos se encuentran intercalados con cultivos.

En el caso de los manglares se registró una extensión de 45,067.04ha, lo que representa el 3.33% del área del proyecto. Este tipo de humedal, se encuentra principalmente a lo largo de zonas bajas y alrededor de lagunas costeras, sobre planicies lodosas influenciadas por las mareas. Así mismo, se observaron manglares mixtos asociados a vegetación de popal, tular, mucal y palmar. Dentro de la cobertura este tipo de vegetación, es posible observar la presencia de instalaciones petroleras tales como pozos, presas de quema, ductos, baterías, cabezales, caminos de acceso. En la actualidad, este tipo de ecosistema presenta pérdida de su cobertura en diferentes grados, dependiendo principalmente de su proximidad con zonas pobladas, ya que es utilizado como combustible, para construcción de casas, y en algunos casos, para cubrir el mercado local de venta de carbón. Otra causa es que se ve afectado por la práctica de incendios por actividades agrícolas tradicionales. Es por ello que la tendencia de esta comunidad vegetal en la región petrolera es hacia la disminución de su superficie como consecuencia de la expansión de pastizales y sistemas agroforestales; así como por la instalación de granjas de cultivo de camarón y peces.

Clasificación de los tipos de humedales

Se hizo una clasificación seis tipos de humedales de acuerdo a su potencialidad de manejo (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de humedales en función a la propuesta de Manejo.

Humedal Tipo		Características
1		Manglares y/o fragmentos de tinto y/o pukté y área de salvaguarda
2	a	Parches de vegetación con Colindancia con el humedal tipo 1 y/o Parches de Vegetación mayor a 100 ha y fragmentación menor del 10%.
	b	Vegetación hidrófita mayor a 100 ha, con colindancia <10% con humedal tipo 1.
	c	Vegetación hidrófita con superficie menor a 100 ha

Humedal Tipo	Características
3	Zonas de transición
4	Pastizales inundables de uso ganadero

Humedales Tipo 1: Manglares y/o fragmentos de tinto y/o pukté, y área de salvaguarda

Este tipo de humedales corresponde a zonas de manglar principalmente, incluyendo las asociaciones que presente con otros tipos de vegetación (Figura 7). Los manglares se encuentran protegidos por la NOM-022-SEMARNAT-2003, debido a que distintos estudios a nivel internacional, señalan que recuperar un manglar que ha sido severamente dañado puede tomar muchos años, cuando ello es posible; en la mayoría de las ocasiones, la pérdida es total e irreversible.

Debido a la fragilidad que presenta este ecosistema, dentro de esta clase también se incluye un área de protección de 100 m alrededor del mangle, la cual está establecida por la NOM-022-SEMARNAT-2003. Además, tomando en cuenta el factor de riesgo en el desarrollo de actividades de la industria petrolera, se tomó el valor máximo de radio de afectación por un evento de derrame o explosión, estimado en las simulaciones de riesgo para derrames de ductos de la MIA Regional Delta Grijalva (PEMEX, 2006b), por lo que se consideró un franja de protección adicional de 90 m. Por tanto, toda la superficie de manglar comprendida dentro del humedal tipo 1 incluye un **área de salvaguarda** de 190 m de distancia alrededor de esta comunidad vegetal. Esta área de salvaguarda puede corresponder a vegetación hidrófita, pastizales, cuerpos de agua y plantaciones, entre otros. Diversos estudios sugieren que una distancia mínima de 190 a 200 m en promedio entre hábitats acuáticos y terrestres, es una medida que favorece el mantenimiento de la biodiversidad, en particular para aquellas especies cuya alimentación, hibernación, anidación y reproducción, esencial para la persistencia de sus poblaciones, depende de dichos hábitats (Semlitsch y Bodie, 2003).

En este tipo de humedal incluye también a los parches de vegetación de especies con una resiliencia baja y que son continuos, tales como el tintal (*Haematoxylum campechianum*) y el pukté (*Bucida buceras*). Estos son considerados como áreas de vegetación con alta probabilidad de conservación, debido a que presentan una alta integridad ecológica, en ella habitan especies con algún estatus de conservación, que además ofrecen servicios ambientales y están sometidos a una alta presión por parte de las poblaciones vecinas, y por actividades agropecuarias. Cabe aclarar que para este tipo de vegetación no se considera el **área de salvaguarda** de 190 m de distancia alrededor de este tipo de comunidad vegetal tal como se consideró para el mangle.



Figura 7. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 1.

Humedales Tipo 2: a, b, c

Estos tipos de humedales corresponden a aquellas zonas con vegetación hidrófita característica y sus asociaciones (Figura 8, 9 y 10). Debido a que la

vegetación hidrófita se puede presentar en diferentes tipos de asociaciones, este tipo de humedal ha sido dividido en tres subtipos: 2a, 2b y 2c, cuyas principales diferencias están en función de su colindancia con otros tipos de humedales, así como del grado de fragmentación que presentan y las dimensiones de dichos fragmentos. Estas características nos permitirán tener una valoración de su integridad ecológica y su estado de conservación, de tal manera que un humedal tipo 2a presentará una mayor integridad ecológica, mientras que el 2c tendrá la menor integridad ecológica para este tipo de vegetación.

De manera general, la definición de un humedal tipo 2a fue delimitada por su colindancia en más del 50% con la periferia del humedal tipo 1 (manglar), así como por aquellos compactos cuya extensión son mayores a 100 ha, y con una fragmentación menor al 10%.

En el caso de los tipos 2b y 2c, la principal diferencia entre uno y otro fue definida por el grado de fragmentación, en donde el humedal tipo 2b no sobrepasa la fragmentación del 50%, mientras que el tipo 2c supera la fragmentación del 50 pero es menor al 70%.

En el caso de los fragmentos confusos, los criterios de decisión fueron la condición de impacto y la viabilidad del mismo, de acuerdo a los valores dados a cada uno de los elementos. Una descripción de cada subtipo de humedal 2 se presenta a continuación.

Humedales tipo 2a: Parches de vegetación con colindancia con el humedal tipo 1 y/o parches de Vegetación mayor a 100 ha y fragmentación menor del 10%.

Se delimitaron en esta categoría parches de vegetación hidrófita que colindan con el humedal tipo 1 en más del 50% de su periferia. Estos parches presentan un alto grado de conservación actual o potencial (Figura 8). El alto grado de conservación puede ser por su colindancia con el humedal tipo 1. Entre sus funciones adicionales está el ser una zona de protección del área de manglar.

También se delimitaron como humedales tipo 2a, a los parches de vegetación hidrófita que presentan un alto grado de conservación actual o potencial ya que ocupan grandes parches de vegetación, mayores a 100 ha, y cuyo índice de fragmentación es menor al 10%.

Estos parches pueden ser áreas que presenten paisajes prácticamente sin alteración en sus propiedades y atributos; las posibles perturbaciones han sido originadas por eventos naturales, por la dinámica evolutiva de los mismos, o como consecuencia de ligeras perturbaciones por actividades humanas. En general, estas áreas cuentan con recursos naturales de alta potencialidad para la conservación, protección de especies y de paisaje únicos, además son sitios que representan una alta integridad ecológica, y que cumplen con las funciones de los humedales. Son sitios de nidación, reproducción y alimentación para la fauna y ofrecen importantes servicios ambientales que tienen un impacto directo en toda la región como: cumplir funciones de recarga de acuíferos, control del flujo hidrológico, retención de sedimentos, hábitat para vida silvestre, sumideros de carbono y mitigación del cambio climático.

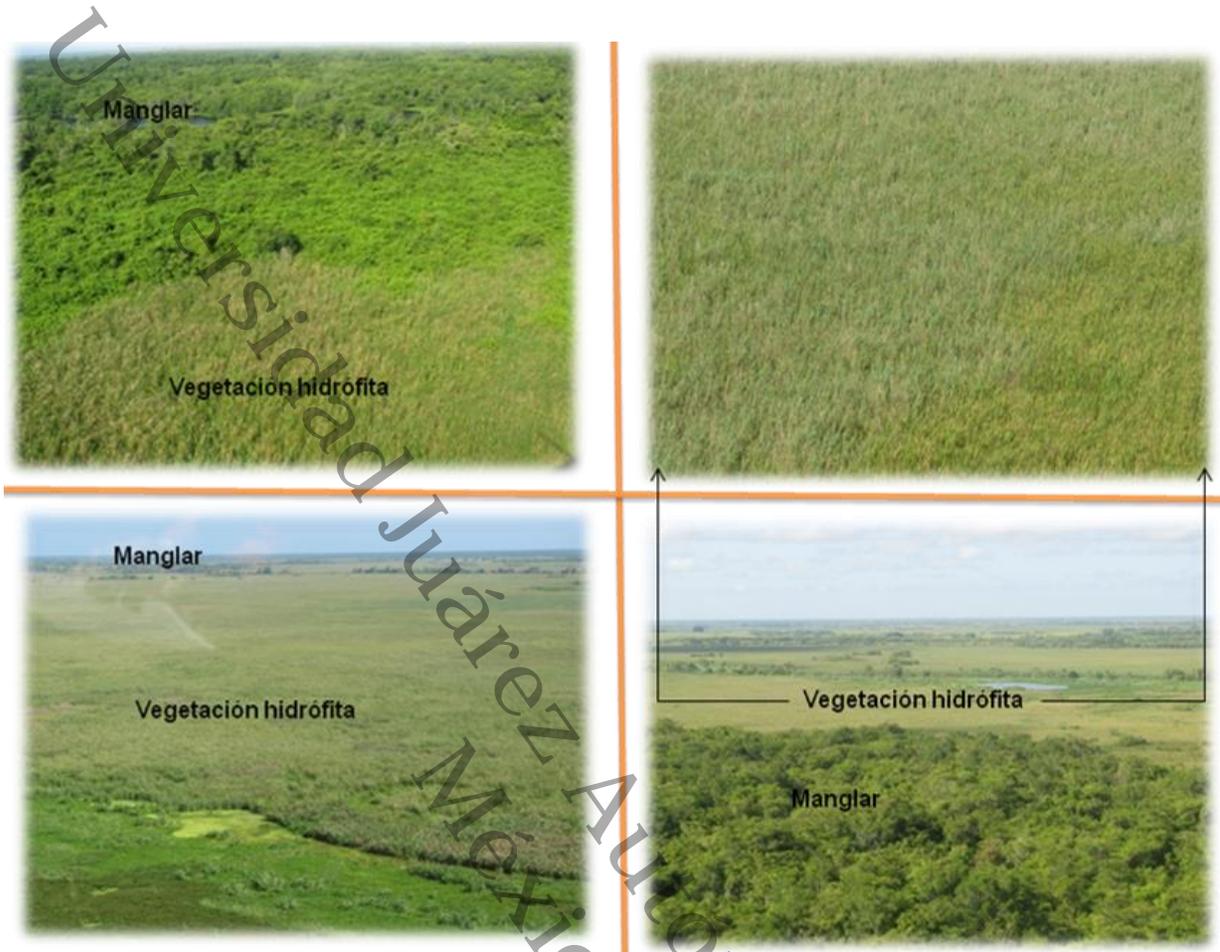


Figura 8. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 2a.

Humedales tipo 2b: Vegetación hidrófita mayor a 100 ha, con colindancia <10% con humedal tipo 1.

Humedales que presentan una viabilidad alta al ocupar, en su mayoría, extensiones de vegetación hidrófita mayores a 100 ha (Figura 9). Se caracterizan por colindar en menos del 10% con humedal tipo 1, y en más del 50% con humedales de tipo 2a, 2c, 3, ó 4; presentan una resiliencia alta, internamente presentan una fragmentación de entre el 10-50%. Sin embargo ya se encuentran impactadas porque presentan en más del 10% de su área actividades antropogénicas tales como caminos, canales, actividades agropecuarias, así como infraestructura petrolera.

Por otra parte dentro de este mismo subtipo también se incluyen fragmentos que presentan colindancia menor al 50% con humedales de tipo 2a, 2c, 3, ó 4, pero con una alta viabilidad por ser mayores a 100 ha y presentar bajos niveles de impacto menos del 10% de su área con actividades antropogénicas. Este subtipo de humedal presenta en buen estado sus funciones ecológicas, tales como la recarga de acuíferos, control del flujo hídrico, retención de sedimentos, amortiguamiento del cambio climático y moderación de microclimas; además, son sitios representativos del ecosistema.



Figura 8. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 2b.

Humedales Tipo 2c: Vegetación hidrófita con superficie menor a 100 ha

La característica principal de este subtipo de humedal es que son fragmentos de vegetación que no superan las 100 ha, su extensión puede fluctuar

entre 1 a 99 ha; además, presentan un alto grado de fragmentación (50 a 70%) debido a redes de caminos, drenes, estanques para acuacultura, ganadería e infraestructura petrolera y asentamientos humanos. Estos humedales no presentan una influencia en los otros tipos de humedales, con excepción de los pastizales inundables (Figura 10).

Por la dimensión (<100 ha) y la fragmentación (entre 50 a 70%) que presentan estos humedales, sus funciones, valores y servicios se han visto disminuidos. Se presentan de acuerdo a sus características como humedales por presentar el tipo de vegetación característico de los mismos, pero sin las funciones que estos tienen (Tabla 4).

Tabla 4. Funciones potenciales que desempeña cada uno de los tipos de humedales identificados.

FUNCIONES HUMEDAL	1	2a	2b	2c	3	4
Recarga de acuíferos	√	√	√	√	-	-
Descarga de acuíferos	√	√	√	√	√	√
Control de flujo hidrológico	√	√	√	√	-	-
Retención de sedimentos y tóxicos	√	√	√	-	-	-
Retención de nutrientes	√	√	√	-	-	-
Estabilización de la línea costera	√	-	-	-	-	-
Protección contra tormentas	√	√	-	-	-	-
Transporte acuático	√	√	√	-	-	-
Soporte de cadenas tróficas	√	√	√	-	-	-
Hábitat para vida silvestre	√	√	√	√	√	-
Reservorios de biodiversidad	√	√	-	-	-	-
Recreación activa	√	√	-	-	-	-
Moderadores del microclima local	√	√	√	-	-	-
Sumidero de carbono	√	√	√	-	-	-
Trampolines y conectores para aves acuáticas	√	√	√	-	-	-
Zonas de anidación y reproducción	√	√	√	-	-	-
Mitigación del Cambio Climático	√	√	√	-	-	-



Figura 10. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 2c.

En este tipo de humedal, se ha perdido en su mayoría la capacidad de ofrecer la cantidad y calidad de productos susceptibles típicos de un humedal (crustáceos y peces, entre otros).

La característica principal que los define es que se encuentran altamente fragmentados, formando dentro del polígono delimitado pequeñas islas de este tipo de humedal, las cuales paulatinamente van perdiendo cada una de las funciones principales de los humedales.

Humedales Tipo 3: Zonas de transición

En este tipo de humedal se incluyen aquellos que tienen como vegetación característica pastizales inundables y/o vegetación hidrófita, y que además se encuentran muy fragmentados (en más del 70%). Se considera una zona de

transición entre los humedales propiamente que cumplen con todas sus funciones y los pastizales inundables. Dentro de este tipo se considera a aquellos humedales que han sido sometidos a una fuerte presión antropogénica pero que aún conservan características tales como ser reservorio para la biodiversidad, contribuir al mantenimiento de la calidad del agua y la reducción de la contaminación, lo cual los hacen importantes para el sostenimiento de otras áreas (Figura 11).

Este tipo de humedales presentan como vegetación característica pastizales inundables, y en algunos casos particulares, vegetación hidrófita y elementos dispersos de tinto, palmas y pukté; sin embargo, son utilizados para la engorda de ganado extensivo, presentando solo en alguna parte del año una lamina de agua, producto de las lluvias y saturación del suelo, por lo que de acuerdo a las características que debe poseer un humedal, estos no se consideran como humedales en el sentido estricto.



Figura 11. Imágenes de los humedales considerados como Tipo 3.

Humedales Tipo 4: Pastizales inundables de uso ganadero

La vegetación característica de este tipo de humedal son los pastizales inundables o cultivados que se inundan temporalmente, ya sea por desbordamiento de los ríos, o por las lluvias (Figura 12). Presentan escasos fragmentos de vegetación hidrófita, la cual está altamente fragmentada (90%). Estas son áreas que son dedicadas a la ganadería o alguna otra actividad productiva. Estos sitios no presentan un potencial viable para la conservación o representación de un humedal de importancia, pues han perdido su capacidad para intervenir en la reposición de aguas subterráneas y se ha disminuido su capacidad en función del manejo que se le dé para control de inundaciones. El resto de las funciones se ven reducidas casi en su totalidad tanto en cantidad como en calidad. Su uso y manejo podría realizarse de manera controlada, debido a que su función como humedal es limitada, por lo altamente modificado que se encuentran en función de la explotación socio-económica que el territorio ha sufrido.



Figura 12. Imágenes de los humedales considerados Tipo 4.

Descripción de la cobertura por tipo de humedal

El análisis y clasificación de los humedales nos permitió establecer una tipificación y categorización de estos (Figura 13). Se encontró que el humedal tipo 1 ocupa una superficie de 175,988.17ha, de las cuales 45,067.04ha corresponden a manglar y 29,088.70ha corresponden al área de salvaguarda de los manglares (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de los humedales registrados dentro del Estado de Tabasco

Tipo de Cobertura	Tipo de Humedal						Total
	1	2a	2b	2c	3	4	
Manglar, Tintal, Pukte	49,880.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49,880.71
Vegetación Hidrofita	1,091.23	71,074.00	2,895.44	1,445.85	86,901.40	63,311.88	226,719.79
Pastizal Inundable	2,963.16	12,086.04	0.00	2,413.46	0.00	681,083.60	698,546.26
cuerpos de agua	87,982.70	0.44	0.00	0.00	0.00	10,339.34	98,322.48
cultivos y plantaciones	2,259.97	0.00	0.00	0.00	0.00	171,980.42	174,240.40
Área de salvaguarda	26,731.94	44.47	0.35	33.19	117.86	2,160.89	29,088.70
Infraestructuras	60.05	0.00	0.00	0.00	0.00	28,272.49	28,332.54
Otros*	5,018.41	0.00	0.00	0.00	0.00	41,504.66	46,523.07
Total general	175,988.17	83,204.95	2,895.79	3,892.50	87,019.25	998,653.29	1,351,653.96

*Acahuales, Selvas, Vegetación de dunas, vegetación riparia.

El humedal tipo 2a tiene una extensión de 83,204.95ha, (Tabla 8). Estas áreas fueron clasificadas dentro de esta categoría tomando en cuenta los criterios propuestos, y aunque presentan una extensión grande de vegetación, en su mayoría se encuentran fragmentadas por caminos e infraestructura petrolera, lo que está originando que este tipo de vegetación se vaya degradando.

El humedal tipo 2b, es el más pequeño de todas las categorías con una extensión de 2,895.79ha, lo que corresponde al 0.21% del total del área de estudio (Tabla 8). Estas áreas presentan parches extensos de vegetación, pero en su mayoría se encuentran fragmentadas por caminos, infraestructura petrolera y asentamientos humanos con prácticas ganaderas, lo que está originando que este

tipo de vegetación degradada. Por otro lado, el humedal tipo 2c se constituyó sólo con un total de 3,892.50ha.

El humedal tipo 3 tiene una extensión un poco mayor (87,019.25ha), pero algo baja ya que sólo ocupa un 6.44% del total del área de estudio. Se registraron humedales tipo 3 en los límites con la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, y asociados a vegetación de manglar en algunos casos

Por último el humedal tipo 4 representa el 73.88%, siendo la mayor porción (998,653.29ha) del área de estudio. del área de humedales identificados, estas categorías pertenecen a zonas de vegetación hidrofita y pastizales, las cuales están dedicadas principalmente a la actividad ganadera o algún otro uso para actividades antrópicas.

La distribución de los tipos de humedales no sigue necesariamente un gradiente espacial. Debido a las diferentes actividades antropogénicas y cambios de uso de suelo que han ocurrido en el Estado, no siempre es posible observar una escala de sucesión de humedales entre los límites de un tipo de humedal y otro. Es por ello que es posible encontrar humedales con un alto valor de conservación como los de tipo 1, colindando con humedales que han sufrido una gran transformación, como los de tipo 3.

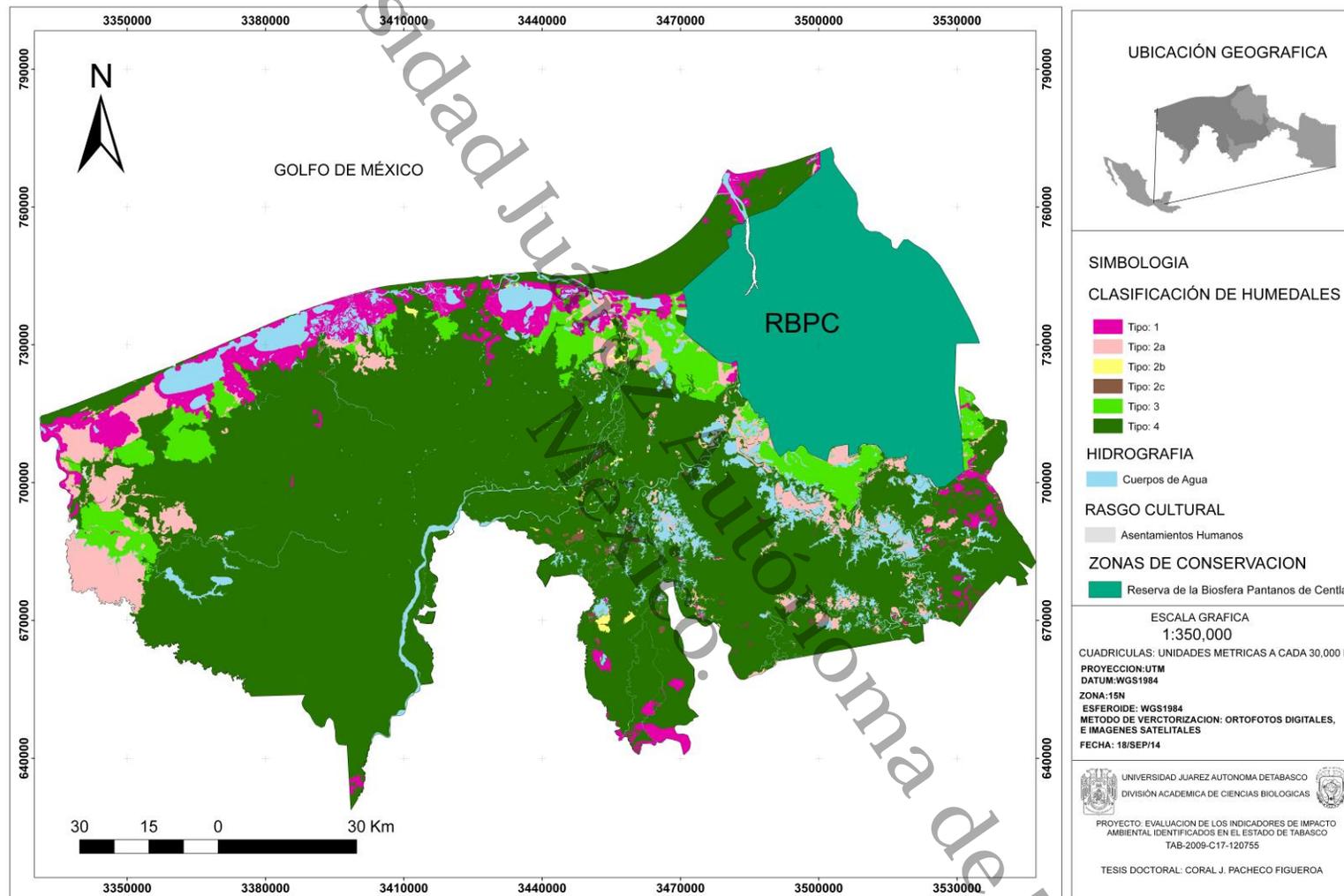


Figura 13. Clasificación de humedales identificados en el Estado de Tabasco

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente proyecto es una herramienta para conciliar medidas de conservación de los humedales con la posibilidad de realizar actividades productivas en los mismos.

La planicie Tabasqueña cuenta con una gran cantidad de humedales que ofrecen una gran cantidad de servicios; sin embargo, el mal manejo de los mismos, la sobreexplotación y la interrupción de flujos, no permite que se conserven en buen estado.

En general, se aprecia que gran parte de los humedales existentes en el área del proyecto se encuentran fragmentados, por el uso que se les viene dando desde hace tiempo, siendo los humedales tipo 1 y algunos tipo 2a, los que presentan el mayor grado de conservación. También se observó que hay sitios que han sido sometidos a una intensa actividad antrópica, sobresaliendo la agropecuaria, petrolera, asentamientos humanos y vías de comunicación, por lo que se considera que estas alteraciones han modificado drásticamente sus características y sus funciones ecológicas.

De acuerdo a la clasificación propuesta para los humedales, los manglares y su área de salvaguarda, fueron definidos como humedales tipo 1, por lo cual se proponen como áreas restringidas a la realización de obras y actividades de la industria petrolera; y que si se permiten en los humedales tipo 2b, 2c, 3 y 4. La importancia de condicionar estas áreas es para conservarlas, y hacer uso de ellas únicamente para actividades que previa evaluación del área se consideren de bajo impacto y sean permitidas por la normatividad vigente.

Se recomienda:

1. La realización de obras en humedales tipo 1, estarán restringidas en apego a lo establecido en la normatividad vigente (NOM-022-SEMARNAT-2003 y Artículo 60 TER de la Ley General de Vida Silvestre.

2. Las obras y actividades que se pretendan realizar en los humedales clasificados como de tipo 2a, y que tienen colindancia con el humedal tipo 1 (manglar) estarán sujetas a los estudios que sustenten y delimiten el área de influencia del manglar, y que garanticen la integridad del flujo hidrológico del mismo.
3. Las obras y actividades que se desarrollen en el resto de los humedales tipo 2a, estarán sujetas a las recomendaciones mínimas descritas en el estudio de impacto ambiental, que le aplique a la obra o actividad (medidas preventivas y medidas de mitigación).
4. En los humedales clasificados como de tipo 2b, 2c, 3 y 4, se podrán realizar obras y actividades planteadas en el Proyecto de acuerdo a las recomendaciones, medidas preventivas y de mitigación establecidas en el de impacto ambiental del mismo.

Se sugiere una comparación entre el manglar con y sin instalaciones petroleras, para determinar los servicios ambientales que presenta cada uno y el estado actual de la situación de esos servicios ambientales.

En algunos tramos de la línea de costa del polígono se observan procesos de erosión provocados por la dinámica natural del mar y por el incremento en el nivel del mismo, es necesario prever medidas que permitan conservar la integridad funcional de las dunas de playa y favorecer la estabilidad costera. Estas dunas además actúan como barrera para atenuar los efectos de los huracanes. Por lo anterior, si se pretende el desarrollo de nueva infraestructura petrolera en las áreas que no son humedales o zonas de conservación del POEET y que ocupan una franja de 200 m de ancho a partir de la línea de playa marcada por la máxima pleamar, se recomienda que se realice un estudio más detallado de las condiciones ambientales.

A continuación se propone una serie de recomendaciones de manejo, dadas las características de cada tipo de humedal.

Humedal Tipo 1

Considerando la existencia de infraestructura petrolera en este tipo de Humedales, y la necesidad de salvaguardar la integridad de las mismas, el uso de estos humedales estará limitado a actividades de bajo impacto, y deberán sujetarse a la normatividad vigente, en este caso a la NOM-022-SEMARNAT-2003, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley General de Aguas Nacionales y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

De manera general, dentro de las áreas de los humedales Tipo 1, se considera que una actividad de bajo impacto son aquellas que se realizan en instalaciones ya existentes que no impliquen ampliación de superficie actualmente ocupada por esas instalaciones petroleras ni mayor riesgo al ecosistema. Estas actividades podrán realizarse dando cumplimiento cabal a las medidas establecidas en los resolutivos o manifiesto ambiental que les aplique.

Humedal Tipo 2a

Para hacer cualquier obra en el humedal tipo 2a que colinde con las áreas de manglar, se deberá realizar un estudio que sustente y delimite el área de influencia del Manglar y que garantice la integridad del flujo hidrológico. Además no se deberán contemplar obras en los que el radio de su área de afectación simulada sobrepase la franja de salvaguarda delimitada para el humedal tipo 1 y alcance la zona de manglar afectando de esta forma su integridad ecológica.

En el caso del resto de los humedales tipo 2a, se podrán realizar actividades siempre y cuando no se incremente el clareo de la vegetación natural en más del 10% y que no se construyan caminos que afecten la integridad del flujo hidrológico y que causen efectos indirectos (tránsito de personas) al humedal, es decir que no se construyan caminos permanentes que crucen por la parte central del fragmento. Adicionalmente se deberán cumplir las medidas descritas en el

manifiesto ambiental que aplique a la correspondiente obra que se pretenda realizar.

Humedal Tipo 2b

Como se ha mencionado, los humedales tipo 2b son una mezcla de áreas con diferentes usos del suelo, desde zonas naturales hasta zonas fragmentadas; por la ubicación y la condición que presentan, mantienen recursos naturales potenciales importantes para la conservación y protección de especies y, a pesar de la modificación por efectos antrópicos que presentan, se considera que tienen potencial para su recuperación. En algunos casos funcionan como áreas de amortiguamiento de los humedales tipo 2a, pues aun conservan funciones de los humedales como la recarga de acuíferos y control de inundaciones.

Por otra parte, admiten un aprovechamiento bajo condiciones reguladas, y respetando las funciones que desempeñan. Dentro de este tipo de humedales, no se deben interrumpir las escorrentías naturales con modificación de los patrones hídricos, por lo que en la construcción de caminos se deberán instalar alcantarillas u obras hidráulicas en cantidad y diámetros suficientes, de acuerdo con lo siguiente:

- En el caso de que la trayectoria del camino se realice sobre la cima de cordones litorales y de manera paralela a los flujos de agua (intercordones), se deberán colocar alcantarillas de 0.90 cm. de diámetro cada 500 m., en función del levantamiento del terraplén a la altura del NAME.
- Por el contrario, en caso de realizarse el camino de manera perpendicular a flujos de agua o cruce de cordones litorales, se establecerán la cantidad necesaria de alcantarillas para evitar la obstrucción de flujos de agua, llegando a implementarse hasta puentes pasarela en caso necesario.
- Se deberán revisar los niveles de aguas normales y extraordinarias, canales y dirección de flujo y con un análisis de volumen potencial de agua así como los tiempos de residencia, determinar la cantidad y dimensiones de las estructuras hidráulicas en la trayectoria del trazo.

En el caso de la construcción de nuevos caminos, además deberá restringirse el acceso de los sitios, para evitar los efectos indirectos (colonización, degradación de sus recursos por la sobreexplotación de los mismos) a los humedales.

En caso de que colinde con humedal tipo 2a, deberá aplicar las mismas recomendaciones que se hacen a ese humedal, en una franja de 190 m alrededor del mismo. La misma franja de 190m se estimara en áreas colindantes con Humedales tipo 1, y sobre el área de esa franja se aplicaran las medidas del manifiesto correspondiente a la obra que se quiera realizar, así como a la normativa que se aplique según sea el caso.

Humedal Tipo 2c

Este tipo de humedales presenta vegetación hidrófita con un alto grado de fragmentación, debido a que existen redes de caminos, drenes, estanques para acuacultura y ganadería. No presentan una influencia en los otros tipos de humedal, salvo en los pastizales inundables. Por su dimensión y fragmentación, sus funciones, valores y servicios se han visto disminuidos.

Estos humedales pueden soportar actividades de la industria petrolera, pero de modo que no continúen con su degradación, por lo que se recomienda que las actividades planeadas en estas zonas, sean de preferencia sitios que ya han sufrido un fuerte impacto y en los que se realizan otro tipo de actividades extensivas.

Dentro de este tipo de humedal se recomienda, en el caso de construcción de caminos, revisar los niveles de aguas normales y extraordinarias, canales y dirección de flujo y un análisis de volumen potencial de agua así como los tiempos

de residencia, para determinar la cantidad y dimensiones de las estructuras hidráulicas en la trayectoria del trazo.

Humedal Tipo 3

Este tipo de humedales se caracterizan por presentar actividades socioeconómicas de bajo impacto, pero que han sufrido alteraciones en la composición y estructura de los componentes bióticos, soportan actividades antropogénicas de bajo impacto. No conservan casi ninguna de las funciones de los humedales, pero aún conservan la capacidad de recarga de acuíferos; por lo tanto, se podrían realizar otras actividades de forma alternativa, siempre y cuando no sobrepasen la capacidad de carga del ecosistema que contribuyan a su paulatina degradación, por lo que se recomienda siempre conocer la flora y fauna asociada al sitio donde se pretenda construir la obra, para evitar la afectación de estos.

Se recomienda que se utilicen los sitios que han sido más fuertemente perturbados, que se encuentren dedicados a actividades agropecuarias. En el caso de la construcción de caminos, se deberán instalar alcantarillas u obras hidráulicas en la cantidad y diámetro suficientes, para no afectar el flujo hidrológico.

Humedal Tipo 4

Los humedales tipo 4 o pastizales inundables, son sitios poco conservados, donde por largo tiempo se ha permitido la modificación de las condiciones naturales en función de la explotación de los recursos. No presentan funciones de un humedal propiamente. Sus características fisiográficas y abióticas, pueden soportar una intensa actividad antropogénica, desde la parte productiva, hasta la actividad petrolera.

Estos sitios presentan alteración de su vegetación e hidrodinámica original, en estos sitios no se reconocen poblaciones viables de especies silvestres, que puedan presentar algún status de conservación.

Por el grado de deterioro que presentan estos sitios, donde por largo periodo se han practicado actividades ganaderas, solo se recomienda que para el desarrollo de actividades petroleras, y la construcción de caminos, se respete el flujo hidrológico, y se coloquen en caso de ser necesario alcantarillas de 0.90 cm. de diámetro cada 500 m., en función que se levanta el terraplén a la altura del NAME.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

LITERATURA CITADA

- ALEMÁN, J. B. 2008. Caracterización de reptiles y percepción local hacia las serpientes en fincas ganaderas de la subcuenca del Río Copán, Honduras. Tesis de maestría. Centro Agrónomico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica. 110 p.
- Angulo A; J. Rueda Almonacid, J. Rodríguez Mahecha y E. La Marca. 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional. Bogotá D.C. 298 pp.
- Barba, E. 2005. Valor del hábitat: Distribución de peces en humedales de Tabasco. *ECOfronteras* 25: 9-11.
- Barba-Macías E; J. Rangel-Mendoza y R. Ramos-Reyes. 2006. Clasificación de los Humedales de Tabasco Mediante Sistemas de Información Geográfica. Universidad y Ciencia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 22:101-110.
- Barragán-Vázquez M.; L. Río-Rodas, J. Mayo-Bautista, M. Gallardo-Álvarez y I. Osorio-Domínguez. 2006. Cambios en la composición de la herpetofauna del Centro de investigación Científica de Especies Amenazadas, Tabasco, México.
- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1990. *Ecology: Individuals, populations and communities*. BlackwellScience 3a. Ed. Cambridge, Massachussets.
- Bennett, A. F. 2004. Enlazando el Paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José Costa Rica. UICN. 1278 p.
- Berlanga-Robles, C. y A. Ruiz-Luna, 2004. Análisis comparativo de los sistemas clasificatorios de humedales. Instituto Nacional de Ecología. http://www.ine.gov.mx/dgioece/ord_ecol/descargas/inf_clasif_humedales.pdf. 71 p.
- Brinson, M. M. 2004. Niveles extremos de variación de patrones y procesos en humedales. *En*: Malvárez A. I. y R. F. BÓ (compiladores). Documentos del Curso-Taller "Bases Ecológicas para la Clasificación e Inventario de Humedales en Argentina". (Buenos Aires, 30 de septiembre - 4 de octubre 2002) FCEYN-UBA, RAMSAR; USFWS; USDS. Buenos Aires. 115 p.
- Brawn J.D. S.K. Robinson y F. R. Thompson. 2001. The role of disturbance in the Ecology and Conservation of birds. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 32: 251-276.
- Cáceres-Andrade S. y J. Urbina-Cardona. 2009. Ensamblajes de anuros de sistemas productivos y bosques en el piedemonte llanero, Departamento del Meta, Colombia. *Caldasia* 31 (1):175-194.
- Calderon-Mandujano R; C. Galindo-Leal y R. Cedeño-Vázquez. 2008. Utilización de Hábitat por Reptiles en Estados Sucesionales de Selvas Tropicales de Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 24(001):95-114.
- Calderón-Mandujano R; H. Bahena y S. Calmé. 2008. Guía de anfibios y reptiles de la Biosfera de Sian Ka'an y zonas aledañas. 2ª edición. ECOSUR/CONABIO/COMPACT/Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. México. 110 pp.
- Calix de Dios, H., A. Novelo y S. Koch. 1996. Vegetación de zonas inundables de Tabasco. *Mexico. Universidad y Ciencia*. 12 (24):28-40.
- Camargo, J.L, C, y V. Kapos. 1995. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology* 11:205-211.
- Campbell, J. 1998. Amphibian and reptiles of Guatemala, The Yucatán AndBelice, *Animal Natural History Series*. University of Oklahoma, Press Norman. 380 p.

- Canseco-Márquez L y U. García-Vázquez. 2006. Herpetofauna de Oaxaca: Adiciones y eliminaciones de especies. En: Memorias de la Reunión Nacional de Hereptología. Nuevo León, Monterrey. México. 38 pp.
- Cappello García S; E. Rosique-Gil, M. Rivas -Acuña, A. Guadarrama-Olivera, O. Castillo-Acosta, S. Arriaga-Weiss, L. Trejo-Pérez, M. Pérez de la Cruz, S. Páramo-Delgadillo, J. Gambia-Aguilar, L.J. Rangel-Ruiz, M. Barragán Vázquez y M. Hidalgo Mihart. 2010. La biodiversidad de Tabasco. *Kuxulxab*. XVII. (31): 43-48.
- Carvajal-Cogollo J; Castaño-Mora O., G. Cárdenas-Arévalo y Ubina-Cardona J. 2007. Reptiles de Áreas asociadas a Humedales de la Planicie del Departamento de Córdoba, Colombia. *Caldasia* 29 (2): 427-438.
- CNA. 1998. Cuencas Hidrológicas. Escala 1:250000. Comisión Nacional del Agua México.
- Colwell R. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shares species from samples. Versión 8.0. Persistent URL<purl.oclc.org/estimates>.
- CONABIO. 2009. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional Para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. 99 p.
- CONABIO. 2008. Manglares de México. México, DF. 38 pp
- CONAFOR. 2007. Revista Electrónica de la Comisión Nacional Forestal, No. 65, <http://www.mexicoforestal.gob.mx>.
- CONANP. 2013. Áreas Naturales Protegidas Federales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Convención de Ramsar. 1971. <http://www.ramsar.org/indexsp.htm>. Fecha de consulta: Julio-Agosto, 2008.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387:253 - 260.
- Cottam, C. and J. Curtis. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* 37 (3):451-460.
- Diario Oficial de la Federación. 1992. Ley Nacional de Aguas Nacionales. 103 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 2003. NOM-022-SEMARNAT-2003. 22 pp.
- Donnelly, M.A Y Guyer, C. 1994. Patterns of reproduction and habitat use in an assemblage of Neotropical hylid frogs. *Oecologia*, 98:291-302.
- Duellman W. 1990. Herpetofaunas in Neotropical Rainforest Comparative Composition, History and Resource Use. Pp 455-505.
- Duellman, W.E. 1963. Amphibians and reptiles of the rainforest of southern El Petén, Guatemala. University of Kansas Publications of the Museum of Natural History. 15: 205-249.
- Escalante-Espinosa, T. 2003. ¿Cuántas Especies Hay? Los Estimadores No Paramétricos de Chao. *Elementos*. 52 (10):53-56.
- Feder, M. E; Shaffer, H.B. y Ware, D.B. 1982. Field Body Temperatures Tropical and Temperate zone Salamanders. *Smithsonian Herpetological Information Service*. 52 (23):1-23.
- Flores-Villela O. 1993. Riqueza de los anfibios y reptiles. *Ciencias*. Número especial 7:33-42.
- Flores-Villela O. y C. McCoy. 1993. Herpetofauna mexicana: Lista anotada de las especies de anfibios y reptiles de México cambios taxonómicos recientes y nuevas especies. *Carnegie Museum of Natural History Special publication*, 17. Pittsburgh: 73 p.
- Flores-Villela O. y L. Canseco-Márquez. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana*. 20(2):115-144.

- García-R. J.; H. Cárdenas H. y F. Castro-H. 2007. Relación entre la diversidad de anuros y los estados sucesionales de un bosque muy húmedo montano bajo del valle del Cauca, suroccidente, colombiano. *Caldasia* 29 (2): 363-374.
- González-Romero, A. y M. Lara. 2006. Cuarta parte, La Tierra. Los anfibios, reptiles y mamíferos. Pp. 407-422. En: P. Moreno Casasola (ed.). *Entornos veracruzanos: La costa de la Mancha*. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Ver. 574 pp.
- Guzmán-Nieto. L. 2011. Herpetofauna de dos áreas ecoturísticas con diferente grado de perturbación en el parque estatal "La Sierra", Tacotalpa, Tabasco. Tesis Profesional. División Académica de Ciencias Biológicas. UJAT. Villahermosa, Tabasco. 52 p.
- Hayes, P., Falso, S., Gallipeau and M. Stice. 2010. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinology perspective. *The Journal of Experimental Biology*. 213, 921-933.
- Hernández-Guzmán J. 2010. La comunidad herpetofaunística y las actividades antrópicas en dos biotopos de Nacajuca, SE México. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.* 21:115-121.
- Herrera J. 2011. El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas*. 20 (2): 21-34.
- Holdridge, L.R. 1978. *Ecología Basada en Zonas de Vida*. IICA, San José, Costa Rica. 216 p.
- INE. 2000. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. SEMARNAP. México. 222 p.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco y anexo cartográfico. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. 89 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2006. Cuaderno estadístico Municipal, Cárdenas, Tabasco, México. INEGI. México. 187 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1997. Cuaderno estadístico Municipal, Centla, Tabasco, México. INEGI. México. 187 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1997. Cuaderno estadístico Municipal de Paraíso, Tabasco, México. INEGI. México. 187 pp.
- INEGI. Provincias fisiográficas. Escala: 1:1, 000,000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. 2013. Marco Geoestadístico estatal 2013 versión 6.0. Áreas Geoestadísticas Estatales. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*. 8 (31): 151-161.
- Lee J. 1996. *The amphibians and reptiles of the Yucatán Peninsula*. Comstock Publishing Associates. United States of America. 499 p.
- López-Ponce V. 1994. Contribución al Conocimiento de los Anfibios que Habitan en 4 Regiones de la Región Centro de Jalpa de Méndez, Tabasco. Tesis Profesional. División Académica de ciencias Biológicas, UJAT, Villahermosa, Tabasco. 62 p.
- Lovejoy, T.E.; R.O. Bierregaard, A.B. Rylands, J.R. Malcom, C.E. Quintela, L. Harper, K.S. Brown, A.H. Powell, D.V.N. Powell, H.O.R. Schubart, M.B. Hays. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments.
- Lot, A. y A. Novelo. 1988. Vegetación y flora acuática del Lago de Patzcuaro, Michoacán, México. *Southwestern Naturalist*. 33(2): 167-165.

- Luna-Reyes, R, Vidal-López, R; Hernández-García E. y H. Montesinos-Castillejos. 2010. Herpetofauna de la región marina prioritaria Corredor Puerto Madero, Chiapas, México. Instituto de Historia y Ecología. Informe final SNUB-CONABIO. Proyecto No. EH011. México. D.F.
- Novelo, A. y L. Ramos. 2005. Vegetación acuática. En: Bueno, J. F. Álvarez y S. Santiago. Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología. UNAM-CONABIO. México. 111-144 p.
- Magaña R., V.O. y C. Gay G. 2002. Vulnerabilidad y Adaptación Regional ante el Cambio Climático y sus impactos Ambientales, Sociales y Económicos. Gaceta Ecológica, octubre-diciembre, Núm. 065. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. P.p. 7-23.
- Magaña, V., L. Gómez, C. Neri, R. Landa, C. León, B. Ávila. 2011. Medidas de adaptación al cambio climático en Humedales del Golfo de México. SEMARNAT. INE. BM. Gob. Japón. UNAM, UAM, CEGAM, S.C. 92 pp.
- Magaña, A. M. 2010. Vegetación y flora del municipio de Paraíso. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Colección José N. Roviroso, Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. Villahermosa, Tabasco. 163 pp.
- Malcolm, J.D. 1992. Edge effects in Central Amazonian forest fragments. *Ecology* 75:2438-2445.
- Malvárez A. I. y R. F. BÓ (compiladores). 2002. Documentos del Curso-Taller "Bases Ecológicas para la Clasificación e Inventario de Humedales en Argentina". (Buenos Aires, 30) FCEYN-UBA; RAMSAR; USFWS; USDS. Buenos Aires. 115 p.
- Marone L. 1990. Modifications of local and regional bird diversity after a fire in the Monte Desert, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*. 63:187-195.
- Mestizo-Rivera, L; J. Morales-Mavil y A. Maruri-García. 2011. La herpetofauna del pantano Santa Alejandrina, Municipio de Minatitlán, Veracruz, México. En: Memorias del XV Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la conservación. 24 al 28 de octubre de 2011, Mérida, Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. 353 p.
- Mendoza S., J.E., E. Jiménez, F. H. Lozano-Zambrano, P. Caicedo-Rosales, L.M. Renlifo. 2008. Identificación de elementos del paisaje prioritarios para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales de los Andes centrales de Colombia. En: C.A. Harvey y J. Saenz M. (editores). Evaluación y Conservación de Biodiversidad en Paisajes Fragmentados de Mesoamérica. 1er ed. Santo Domingo de Heredia Costa Rica. INBio. 624 p.
- Middleton, Beth (eds.). 2002. A Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance. John Wiley&Sons, Inc.
- Morera, C., J. Pintó y M. Romero. 2007. Paisaje, Procesos de Fragmentación y Redes Ecológicas: Aproximación Conceptual Pp 11-32. En: O. Chassot, C. Morera. Corredores biológicos: Acercamiento conceptual y experiencias en América. San José Costa Rica: Centro Científico Tropical/ Universidad Nacional de Costa Rica. 2007. 128 pp.
- Moreno C.E. 2001. Métodos para medir la Biodiversidad. M&T-Manuales y tesis SEA. CYTED, ORCYT/UNESCO & SEA. Zaragoza, España. 84 p.
- Moreno-Bejarano L. y R. Álvarez-León. 2003. Fauna asociada a los manglares y otros humedales en el Delta Estuario del río Magdalena, Colombia. *Revista Académica Colombiana. Cienc.* 27 (105): 527-534.
- Moreno-Cáliz E; A. Guerrero-Peña, M. Gutiérrez-Castorena, C. Ortiz-Solorio y D. Palma-López. 2002. Los manglares de Tabasco, Una Reserva Natural de Carbono. Madera y Bosques Número especial: 115-128.

- Muñoz Alonso, L.A. 2012. Herpofauna de la Región del Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. El colegio de la Frontera Sur. Unidad San Cristóbal de las Casas. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. EJ015. México. D.F.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest implications for conservation. *Tree*. 10 (2): 58-62.
- Murrieta Galindo R. 2007. Diversidad de anfibios en cafetales en la zona centro del estado de Veracruz centro. Tesis de maestría. INECOL, Xalapa, Veracruz. 75 pp.
- Novelo A, Ramos L. 2005. Vegetación acuática. Pp:111-144. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (eds). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 pp.
- Ochoa-Ochoa L y O. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. UNAM-CONABIO, México, D.F. 211 p.
- Ortiz-Perez, M.A., C. Siebe y S. Cram. 2005. Diferenciación geográfica de Tabasco. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (eds). Biodiversidad del estado de Tabasco., 386 pp. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 pp.
- Pacheco-Figueroa C.; E. Gordillo-Chavez, J.Valdez-Leal, L. Gama-Campillo, J. Sáenz-Méndez, L. Rangel-Ruiz, E. Mata Zayas y S. Arriaga-Weiss. Importancia del vecino para la riqueza herpetofaunística de los manglares. En: Memorias del IV Congreso Mexicano de Ecología. 18 al 22 de marzo de 2013, Villahermosa, Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 261 p.
- Pacheco-Figueroa C.; L. Gama-Campillo, J.Valdez-Leal, E. Gordillo-Chavez, E. Moguel-Ordoñez, y S. Arriaga-Weiss. Herpetofauna amenazada por erosión y elevación del nivel del mar en la costa de Tabasco, México. En: Memorias del XV Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la conservación. 24 al 28 de octubre de 2011, Mérida, Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. 353 p.
- Pacheco-Figueroa C. J.; L.M. Gama-Campillo, J.D. Valdez-Leal, E.J. Gordillo-Chávez, E.J. Moguel-Ordoñez, y S. Arriaga-Weiss. 2006. Herpetofauna amenazada por erosión y elevación del nivel del mar en la costa de Tabasco, México. En: Memorias del X Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la conservación. 29 de octubre al 02 de noviembre de 2006, La Antigua Guatemala.
- Pacheco-Figueroa C. J.; F. De la Cruz-Burelo, E.J. Moguel-Ordoñez, E.E. Mata-Zayas, J.D. Valdez-Leal, L.M. Gama-Campillo. 2008. Informe Técnico: Caracterización, Delimitación Espacial y Clasificación de Humedales Identificados en el Área del Proyecto Delta Grijalva. PEMEX-UJAT-SEMARNAT. Villahermosa, Tabasco. 116 p.
- PEMEX, UJAT. 2006a. MIA-R Para el Desarrollo de Actividades petroleras del Proyecto Delta Grijalva. Subdirección Región Sur. Gerencia de Seguridad Industrial-Protección Ambiental y Calidad. UJAT-DACBiol. COVINSE. Tabasco, México. 450 p.
- PEMEX, UJAT. 2006b. MIA-R Para el Desarrollo de Actividades petroleras del Proyecto Guadalupe Puerto Ceiba. Subdirección Región Sur. Gerencia de Seguridad Industrial-Protección Ambiental y Calidad. UJAT-DACBiol. COVINSE. Tabasco, México. 462 p.
- PEMEX, UJAT. 2006c. MIA-R Para el Desarrollo de Actividades petroleras del Proyecto Macuspana. Subdirección Región Sur. Gerencia de Seguridad Industrial-Protección Ambiental y Calidad. UJAT-DACBiol. COVINSE. Tabasco, México. 430 p.
- PEMEX, UJAT. 2006d. MIA-R Para el Desarrollo de Actividades petroleras del Proyecto Ogarrio Magallanes. Subdirección Región Sur. Gerencia de Seguridad Industrial-Protección Ambiental y Calidad. UJAT-DACBiol. COVINSE. Tabasco, México. 427 p.

- Perovic, P; C. Trucco, A. Tálamo, V. Quiroga, D. Ramallo, A. Lacci, A. Baungardner y F. Mohr. 2008. Guía técnica para el monitoreo de la biodiversidad. Programa de Monitoreo de Biodiversidad-Parque Nacional Copo, Parque y Reserva Provincial Copo, y Zona de Amortiguamiento. APN/GEF/BIRF/.Salta, Argentina.
- Pianka, E.R. 1974. Niche Overlap and Difusse Competition. Proceedings of the National Academy of Science, 7:2141-2145.
- Pleguezuelos, J. y M. Fetiche. 2004. Anfibios y reptiles. Guía de la naturaleza. Granada. En: Renteria Moreno, L; Tailor R. J y J. Moya Robledo. 2007. Comunidad de reptiles presente en el bosque de la selva pluvial central del departamento del Chocó. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo. 26 (2):23-36.
- POEET. 2006. Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Tabasco. Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente. 115 pp.
- Ramírez Bautista, A; F. Mendoza Quijano y M.C. Arizmendi. 2004. *Bolitoglossapltydactyla*. Estatus y conservación de algunos anfibios y reptiles de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. D.F.
- Ramírez-Bautista, A; Canseco-Márquez L y Mendoza-Quijano, F. 2006. Inventarios Herpetofaunísticos de México: Avances en el conocimiento de su biodiversidad. Publicaciones de la Sociedad Herpetológica Mexicana (3):10-12.
- Rosado A. E. 2009. Estructura y composición de la avifauna acuática asociada al área de influencia del proyecto integral contra inundaciones (PICI) en Tabasco. Tesis Profesional. División Académica de ciencias Biológicas, UJAT, Villahermosa, Tabasco. 77 p.
- Salinas Castillo, W. E., E. J. Treviño Garza, E. J. G. Jaramillo Tovías y J. A. Campos Flores. 2002. Identificación y clasificación de humedales interiores del estado de Tamaulipas por percepción remota y sistemas de información geográfica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 49:74-91 pp.
- Sánchez-Aguilar G.E; R. Luna-Reyes y E. Hernández-García. 2011. Herpetofauna de la zona sujeta a conservación ecológica El Cabildo, Amatal, Chiapas, México. LACANDONIA. Vol. 5. 1:53-65.
- Sánchez y Barba, 2005 Biodiversidad de Tabasco. Pp. 1-16. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (eds). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 pp
- Saniunjo, R. E. y W. Casas Stefanie. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los Manglares. Gaceta Ecológica. INE-SEMARNAT, 74:55-68 pp.
- Semlitsch y Bodie, 2003. Biological criteria for buffer zones around wetlands and riparian habitats for amphibians and reptiles. Conservation Biology. 17:1219–1228
- Scott D. A., Jones TA 1995. Classification and inventory of wetlands: a global overview. PlantEcology 118:3-16.
- Schelapfer M. y T. Gavin. 2001. Edge effects on lizards and frogs in tropical forest fragments. Conservation Biology. 15:1079-1090.
- SHEIL, D. y D.F. Burslem.R.P. 2003. Disturbing hypotheses in tropical forests. Trends Ecol. Evol. 18: 18-26.
- Shoene, T.E. 1974. Resourse partitioning in ecological communities. Science 185, 27-39.
- Solis, Z. 2009. Estructura de la herpetofauna y su relación con variables ambientales en Villahermosa, Tabasco. Tesis de Licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas. UJAT. Villahermosa, Tabasco. 83 p.
- Toft, C.A. 1985. Resourse partitioning in amphibians and reptiles. Copeia, 1985:1-21.

- Torres-Jiménez B. 2006. La Herpetofauna de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Iztapalapa, Edo de México. 45 p.
- Torrez, P. 2010. La comunidad de anuros de la selva mediana subperennifolia del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Tesis Profesional. División Académica de Ciencias Biológicas. UJAT. Villahermosa, Tabasco. 42 p.
- Torrez-Pérez M.; D. Triana-Ramírez, E. Cázares-Hernández, E. Moguel-Ordoñez, J. Valdez-Leal y C. Pacheco-Figueroa. 2008. Cultivos y agrosistemas de Tabasco, como zona de refugio para la Herpetofauna. En: X Reunión Nacional de Herpetología. Pachuca, Hidalgo. México. 96-97.
- Triana-Ramírez D. 2007. Estudio de la comunidad de serpientes del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Tesis Profesional. División Académica de Ciencias Biológicas. UJAT. Villahermosa, Tabasco. 45 p.
- Tuberville T.; J. Willson, M. Dorcas y J. Gibbons. 2005. Herpetofaunal species richness of southeastern national parks. *Southeastern Naturalist*. 4:537-569.
- Urbina Cardona J. y V. Reynoso. 2011. Descripción y modelado del microhábitat de los anfibios y reptiles que habitan la selva alta perennifolia de los Tuxtlas. 355-384 Pp.
- Urbina-Cardona J. y M. Londoño-M. 2003. Distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación en la Isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Revista Académica Colombiana. Cienc.* 27 (102): 105-113.
- Vargas, S y M. Bolaños. 1999. Anfibios y reptiles presentes en hábitats perturbados de la selva lluviosa tropical en el bajo Anchicayá Pacífico colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc* 23 (suplemento especial): 499-511.
- Yahner, H. R. 1988. Changes in wildlife communities near edges. *Conservation Biology*.(2):333-339.

Revista Forestal Universidad Autónoma de Chapingo.**CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LOS HUMEDALES NATURALES
TABASQUEÑOS EN FUNCIÓN DE SU FORMA.**Coral J. Pacheco-Figueroa^{1*}

Elías José Gordillo Chávez, Lilia María Gama Campillo, Juan de Dios Valdez Leal,
Ruth del Carmen Luna Ruíz, Joel Sáenz Méndez², Eduardo Moguel Ordoñez, Ena
Mata Zayas, Christian Vidal Sierra, Stefan L. Arriaga Weiss, Luis José Rangel
Ruíz,.

¹Prof-Inv. División Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
Carretera Vhsa-Cárdenas Km. 0.5. Entronque bosques de Saloya.
Villahermosa, Tabasco.

²Prof-Inv ICOMVIS-UNA Heredia, Costa Rica.

* pachecoral@gmail.com

(052 1) 993 153 55 00

INTRODUCCIÓN

El incremento de las poblaciones humanas, el avance de la frontera agrícola y el cambio climático, han provocado una fragmentación y pérdida extrema de los humedales naturales, provocando el detrimento de una gran cantidad de especies. El paisaje de los impactos humanos es una matriz espacial de parches, relictos o fragmentos de bosques que dificultan la conectividad biológica, el hábitat de diversas especies, lo que puede derivar en pérdida de biodiversidad y cambios en la abundancia y composición de especies (Naeem *et al.* 2009, Twedt, *et al.*, 2006).

La fragmentación tiene un efecto sobre el microclima y los nutrientes del ecosistema natural, afectando la abundancia y distribución de especies. Los bosques también se ven afectados, al reducirse la actividad de polinizadores, la deposición de polen y los niveles de exogamia. Una cobertura natural fragmentada puede ser descrita por su configuración y su composición, obteniéndose datos como el número de fragmentos, tamaño, forma y grado de aislamiento de los fragmentos (Patton, 1975; Bennet, 2004).

Un efecto evidente de la fragmentación en Tabasco, es la reducción de la cantidad de ejemplares de especies de gran tamaño y que requieren de un ámbito de hogar de varios kilómetros a la redonda. Este es el caso del Jaguar (*Panthera onca*) o del Tapir (*Tapirus bairdii*), que se estima sólo pueden habitar en áreas como la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC), que es un humedal natural en donde pueden encontrar una mayor cantidad de recursos. Este gran humedal además es de gran relevancia por su colindancia con el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT). Unidas forman la mayor reserva hidrológica de México.

Los elementos que rodean los parches los influyen directamente, teniendo como consecuencia un efecto de borde. Estos elementos pueden estar constituidos por vegetación secundaria, cultivos, asentamientos humanos y vías de comunicación; El efecto de borde además del atributo que rodea al parche, depende mucho de la forma del mismo parche, ya que en función a ella se definen las áreas núcleo que ofrecen recursos para la sobrevivencia de las especies que ahí habitan. Por lo que es necesario conocer la regularidad o de irregularidad de sus formas

La reducción de la fragmentación en Tabasco es un factor relevante para la conservación de los ecosistemas naturales. Esta conservación sólo puede realizarse contando con una estrategia y un plan rector en el manejo de los sistemas agropecuarios, involucrando a los habitantes locales y asegurando que los beneficios directos de los servicios ambientales sean entregados a los locales que estén en contacto directo con el ecosistema. A pesar de que las selvas constituyen los ecosistemas más diversos, las coberturas de humedales naturales proporcionan hábitat valiosos a la vida silvestre, contribuyendo por medio de varios mecanismos a la conservación (Brockerhoff *et al.* 2008). En Tabasco, se ha visto reducida grandemente la cobertura de selvas, pero la cobertura de humedales naturales aún mantienen una importante extensión del territorio del Estado. En el presente trabajo se pretende analizar el grado de fragmentación

actual de los humedales naturales del Estado de Tabasco, por medio de su composición y configuración espacial, para generar posibles medidas de conservación de la biodiversidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Se analizó la totalidad del territorio del estado de Tabasco. El estado de Tabasco se localiza en el sureste del país, entre los 17° 15' y 18° 39' de latitud norte y entre los 90° 59' y 94° 08' de longitud oeste. Colinda al norte con el Golfo de México, al sur con el estado de Chiapas, al oeste con el estado de Veracruz y al este con el estado de Campeche y la República de Guatemala. Abarca una superficie de 24,661 kilómetros cuadrados que corresponden al 1.3% del territorio nacional (Dirección General de Geografía – INEGI, 2001; figura 1).

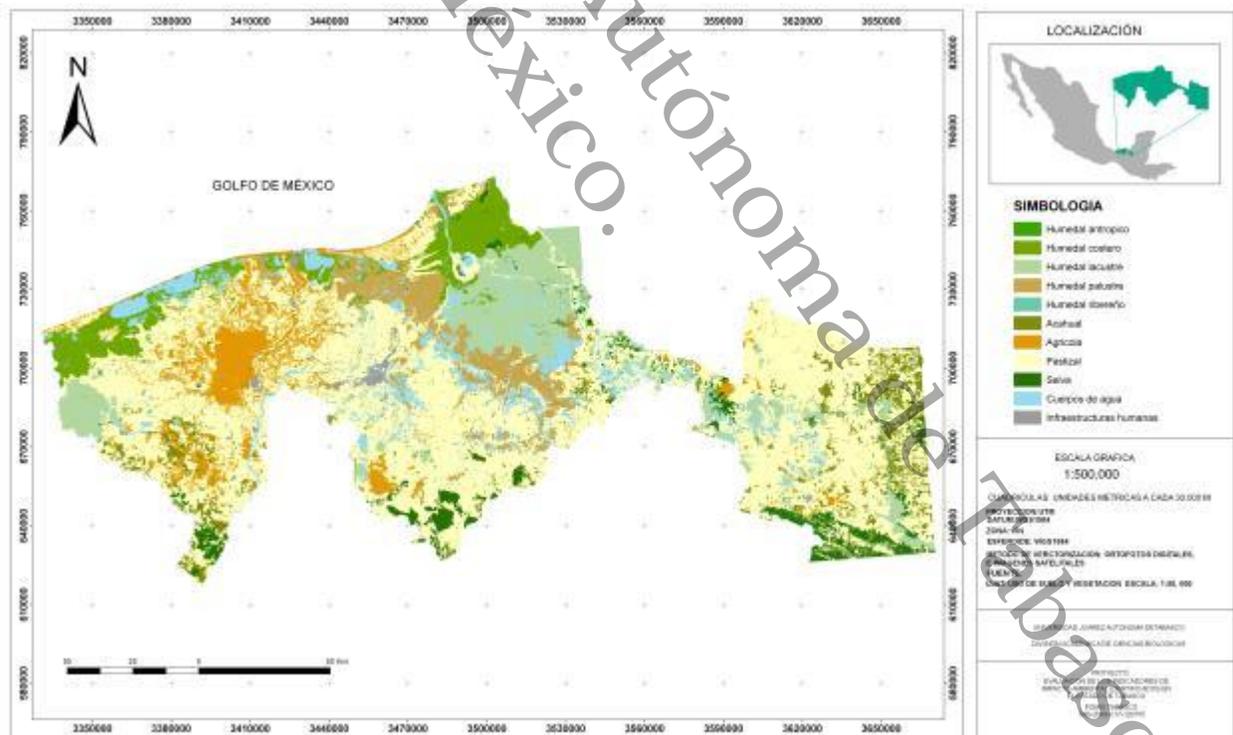


Figura 1. Mapa de ubicación del estado de Tabasco con la clasificación de vegetación y usos de suelo.

Clima

El estado de Tabasco está definido por tres tipos de clima, dos de ellos cubren más del 95 % del territorio; cálido húmedo con lluvias todo el año, cálido húmedo con lluvias abundantes en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano respectivamente. El primero de ellos Af(w) está distribuido en las áreas montañosas correspondientes a la provincia Sierra de Chiapas y Guatemala. Esto permite la distribución de especies de selva húmeda o selva alta perennifolia. El segundo tipo de clima Am(w) está distribuido en la gran planicie de la llanura del Golfo y al igual que el clima anterior presenta periodos marcados de precipitación y sequía definidos por las siguientes características (Dirección General de Geografía – INEGI, 2001).

Hidrología

Tabasco es la zona del país donde se localiza la red hidrológica más compleja y se registran las mayores precipitaciones pluviales. La abundancia de escurrimientos superficiales, así como el escaso relieve de la llanura costera, da lugar a la formación de un drenaje anastomosado, dendrítico y lagunar, por tal motivo se ha desarrollado un gran número de cuerpos de agua de variadas dimensiones, al igual que pantanos y llanuras de inundación. Al sur del estado, donde se localizan las sierras del norte de Chiapas, el patrón de drenaje predominante es de tipo dendrítico, influenciado principalmente por estructuras geológicas. Toda el agua que escurre por el territorio tabasqueño corresponde a la vertiente del Golfo de México (Dirección General de Geografía – INEGI, 2001).

Hidrología superficial

La hidrología superficial del Estado, es de gran importancia, debido que en esta región del país se encuentran dos de los más importantes ríos a nivel nacional, el Mezcalapa-Grijalva y el Usumacinta, así como parte de las regiones hidrológicas Coatzacoalcos (RH-29) y Grijalva Usumacinta (RH-30). Se estima que

aproximadamente el 30% de las aguas superficiales que escurren en el país lo hacen por este estado. El flujo natural de la parte occidental del Río Grijalva ha sido interrumpido por obras viales y drenes artificiales, efectuados en el complejo agropecuario la Chontalpa, donde se realizó una red de drenes de canalización de aguas superficiales con fines agrícolas y desfogue de terrenos anegados. Aunado a esto el desarrollo de vías de comunicación ha exigido la construcción de bordos, cegamiento, cambio de curso de ríos y dragados, que han cambiado drásticamente la dinámica natural del agua superficial (Dirección General de Geografía – INEGI, 2001).

Vegetación

En el estado de Tabasco se pueden encontrar un conjunto de selvas propias de regiones de clima cálido, como la Selva alta perennifolia, selva mediana perennifolia, selva baja caducifolia, y selva baja inundable de canacoíte (*Bravaisia integerrima*); así como otros tipos de coberturas naturales, Bosques de Tinto (*Haematoxylum campechianum*), Bosque de galería, Vegetación hidrófila (Popales, tulares y carrizales), Dunas costeras, Manglar . También se encuentran sitios en proceso de regeneración denominados Acahuales . Los usos de suelo predominantes son las Plantaciones, como las de cacao, caña de azúcar, copra, hule, plátano, cacao, palma de aceite, así como cítricos, eucalipto, agave, teca y coco, entre otros (Tudela, 1989; Castañeda & Cámara, 1992). Los Pastizales son comunidades dominantes en el Estado.

Fauna Silvestre

Aun cuando la gran mayoría de las coberturas naturales del estado de Tabasco, han sido transformadas, continúa siendo un área rica en especies de fauna silvestre. Dentro de su diversidad se pueden destacar 490 especies de aves, 114 de mamíferos, 35 de anfibios y reptiles, así como 95 especies de peces de aguas continentales (Bueno *et al.* 2007).

Cartografía

La cartografía de vegetación y usos de suelo se obtuvo a partir de la digitalización de ortofotos del año 2011. Para la digitalización se tomó como unidad mínima cartografiable con elementos mayores a 1 ha (Priego *et al.*, 2008). La digitalización se hizo en el programa ArcGis 9.3 y fue clasificada en 11 tipos de vegetación y usos de suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de vegetación y usos del suelo determinados para el estado de Tabasco. Adaptado de Barba Macías *et al.*, 2006.

ATRIBUTO	DESCRIPCION
Acahual	Vegetación secundaria, en distintas fases sucesionales.
Agrícola	Incluye las plantaciones arbóreas y los cultivos de temporal
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua lenticos y loticos
Humedal Antrópicos	Incluyen las granjas acuícolas
Humedal Costero	Superficies costeras con influencia marina hasta de 20 km de la costa (estuarios y lagunas costeras), con suelo Solonchak, Histosoles,; vegetación halófila: manglar, mucal, dunas costeras, pastos salinos y vegetación flotante.
Humedal Lacustre	Áreas de lagunas continentales superiores a 100 ha, con suelos Gleysoles e Histosoles; Vegetación hidrófila flotante de <i>Eichhorniacrassipes</i> , <i>Lemnaminor</i> , enraizadas emergentes <i>Nymphaeaampla</i> , <i>N. odorata</i> , <i>Pistiastratiotes</i> , <i>Nymphoideshumboldtiana</i> , <i>Heteranthasp.</i> ; acuática sumergida <i>Cabombasp.</i> , <i>Vallisneria americana</i> , <i>Salviniasp.</i> ; <i>Myriophyllumspicatum</i> , <i>Potamogetonsp.</i> , <i>Cerathophyllumsp.</i> , <i>Najas sp.</i> , <i>Utriculariasp.</i>
Humedal de Palustre o Pantano	Áreas inundables, someras de agua dulce, con suelos Histosoles y Gleysoles; vegetación hidrófila emergente, emergente enraizada, <i>Cyperusarticulatus</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Thaliageniculata</i> , <i>Cladiumjamaicense</i> ; emergentes enraizadas, <i>Acelorrhaphewrightii</i> (tasiste); selva baja inundable <i>Pachiraacuatica</i> (Apompo); <i>Haematoxyllumcampechianum</i> (tinto), que este a más de 20 km de la costa.
Humedal ribereño	Vegetación que se establece a orillas de los ríos perennes, de tercer y cuarto orden, con suelos Fluvisoles; vegetación de galería <i>Salixhumboldtiana</i> (saucé).
Infraestructura	Infraestructura petrolera, Industrial, vías de comunicación y asentamientos humanos.
Pastizal	Todo tipo de pastizal (inducido y cultivado)
Selvas	Incluye la selva baja caducifolia, Selva mediana perennifolia, Selva alta perennifolia.

Para describir la fragmentación en los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo, se utilizaron métricas del paisaje a nivel de clases, evaluando su composición y configuración. Para evaluar la composición se calcularon las métricas de número de fragmentos, tamaño medio del fragmento, cantidad de área para cada tipo de vegetación y uso del suelo. La complejidad del paisaje se midió utilizando el índice de forma de Patton (1975), el índice de compactación y a nivel de paisaje el grado de fragmentación.

Las **Métricas de Composición** fueron calculadas en el programa ArcGis 9.3, a través de la extensión *Patch Analyst* y *Patch Grid*. Considerando como métricas el Número de parches, Clase área, Área promedio del parche y el Índice del vecino más cercano.

Las **Métricas de Configuración** de los índices de forma y de continuidad, se estimaron por medio de la aplicación de las siguientes fórmulas:

El **índice de forma de Patton** (1975) se basa en la relación perímetro área, y varía entre uno (círculo perfecto) e infinito (formas no circulares), clasificando los fragmentos en 5 categorías (Tabla 2). Teóricamente, cuando la forma se torna más compleja, aumenta el efecto de borde de las áreas circundantes o adyacentes.

Este índice se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \text{Perímetro de cada fragmento} / 2 * (\pi * \text{área})^{1/2}$$

Tabla 2. Forma de fragmentos según el índice de diversidad de formas de Patton.

Forma	Índice (D. I.)
Redondo	R < 1.25
Oval-redondo	1.25 < R < 1.50
Oval oblongo	1.51 < R < 1.75
Rectangular y Oblongos	1.76 < R < 2
Amorfo o irregular	R > 2

Fuente: Patton D. R. 1975. A diversity index for quantifying habitat edge.

Índice de compactación. Indica el grado de fragilidad o exposición del fragmento a los efectos de la matriz, con valores que oscilan entre 0 y 1, siendo los frágiles los más cercanos o con valor igual a 0; y los más cercanos, o con un valor igual a uno, los menos frágiles y compactos (Pincheira *et al.*, 2009) o con menos exposición a los efectos negativos de la matriz. Se expresa de la siguiente forma:

$$1/DI$$

Dónde:

DI: Índice de diversidad de Patton

Grado de fragmentación. La fragmentación total del paisaje se estima con la relación entre el área de bosque y el área total. Y su definición es:

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

Los valores de F oscilan entre 0 y 1 F se caracteriza de acuerdo con los rangos de valores presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores para el índice de fragmentación

Rangos F	Grado de fragmentación
F = 1	Sin fragmentación
F = <1 ≤ 0, 7	Fragmentación moderada
F = 0, 7 ≤ 0, 5	Altamente fragmentado
F = < 0, 5	Insularizado

Fuente: Díaz, 2003.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Métricas de composición

Las 11 clases en que se clasificó la vegetación y uso del suelo de Tabasco, están representadas en 30,543 fragmentos de un área total de 2´473,541.12Ha. El tamaño del parche es el área total del parche y representa un factor clave en el mantenimiento de su integridad. Los pastizales presentan los parches más

grandes, y los humedales costeros son los que presentan el tamaño más grande de parches de todos los humedales (Tabla 4). Los de menor superficie son los Humedales Antrópicos (Tabla 4), pero a su vez los mas distanciados, esto se explica, ya que se componen de estanque artificiales principalmente.

El índice del vecino más cercano muestra que los pastizales tienen la menor distancia de aislamiento. En cuanto a los humedales los menos aislados son los humedales lacustres. Esta continuidad de los lacustres se ve favorecida por los cuerpos de agua continuos. Los Humedales más aislados son los antrópicos, debido principalmente a la distancia en la cual se ubican todos los sistemas acuícolas y otros humedales formados principalmente para su aprovechamiento. Igualmente la distancia entre los antrópicos es favorecida por lo reducido de su tamaño.

El segundo tipo de Humedal más aislado corresponde a los ribereños. Este tipo de humedales se ve altamente amenazado por el drenado y relleno de los cuerpos de agua (Estrada *et al.*, 2013; De la Lanza y García, 1991), lo que deriva en la pérdida de estos humedales, dejándolos cada vez más aislados.

Tabla 4. Número de Parches por clase, área y área promedio del parche de la vegetación y uso de suelo de Tabasco.

Clases	NumP	CA	MPS	MNN
Humedal antrópico	10	127.13	38.44	7,112.24
Humedal ribereño	210	1,039.47	54.63	2,837.39
Selva	518	98,579.39	542.41	1,626.02
Humedal costero	691	160,590.32	1,834.20	1,557.71
Humedal lacustre	1,113	251,010.35	1,069.61	1,348.18
Humedal palustre	1,364	143,858.20	886.02	1,403.81
Infraestructuras humanas	1,555	34,502.25	102.96	2,992.89
Acahual	1,958	122,704.03	227.48	1,470.91
Pastizal	5,041	1,259,445.75	4,167.94	788.81
Cuerpos de agua	5,921	204,558.14	172.75	1,056.84
Agrícola	12,162	197,126.09	319.9	1,210.79
Total	30,543	2,473,541.12	-	-

NumP: número de parches, CA: clase área, MPS: área promedio del parche, MNN: índice del vecino más cercano.

Métricas de Configuración

Índice de forma

De acuerdo al índice de forma de Patton, la mayoría de los fragmentos adquieren formas irregulares, siendo las formas redondas las menos presentes y representadas por coberturas como acahual, cuerpos de agua y la clase agrícola (Tabla 5 y 6). La forma de los fragmentos es primordial porque de ella depende las condiciones del hábitat, y se encuentra condicionada por las condiciones naturales y las actividades antrópicas (Baidi y Landeros, 2006). En el estado de Tabasco la mayor cantidad de fragmentos corresponden a la clase de agrícolas (Tabla 5). El pastizal es el tipo de cobertura que presenta la mayor extensión (Tabla 6). En ambos casos son las actividades antrópicas las que favorecen ambas situaciones. La ganadería es la causa principal de la transformación de la cobertura vegetal en el estado de Tabasco (Hernández, 2006), ya que se le dedican aproximadamente 23 veces más superficie que para la agricultura (Sánchez & Barba, 2007).

Tabla 5. Número de Fragmentos de vegetación por tipo de Forma (Índice de Patton)

CLASE	Irregular	Oval es oblongo s	Oval es y Redondo s	Rectangulare s y Oblongos	Redondo s	Fragmento s Totales
Humedal antrópico	1	1	3	0	5	10
Humedal ribereño	144	18	15	30	3	210
Selva	240	82	81	66	49	518
Humedal costero	336	82	123	85	65	691
Humedal lacustre	506	158	179	157	113	1,113
Humedal palustre	654	204	228	183	95	1,364
Infraestructuras humanas	628	247	297	205	178	1,555
Acahual	693	343	444	239	239	1,958
Pastizal	2,245	792	870	637	497	5,041
Cuerpos de agua	1,300	677	1,142	433	2,369	5,921
Agrícola	1,851	1,695	3,609	991	4,016	12,162
Total general	8,598	4,299	6,991	3,026	7,629	30,543

Los fragmentos Irregulares son los que presentan el mayor número de fragmentos, seguidos de los fragmentos redondos (Tabla 5); pero corresponde a los fragmentos irregulares la dominancia por cantidad de hectareas (Tabla 6).

Tabla 6. Superficie de los Fragmentos de vegetación por tipo de Forma (Índice de Patton).

CLASE	Irregular	Ovales oblongos	Ovales y Redondos	Rectangulares y Oblongos	Redondos	Área total (Ha)
Humedal antrópico	15.75	32.60	31.39	0.00	47.38	127.13
Humedal ribereño	990.61	5.17	18.76	20.29	4.65	1,039.47
Infraestructuras humanas	23,217.66	1,968.67	3,799.24	3,014.54	2,502.14	34,502.25
Selva	90,007.78	1,230.61	1,437.47	5,326.77	576.76	98,579.39
Acahual	99,030.54	7,505.38	5,910.81	8,073.16	2,184.14	122,704.03
Humedal palustre	131,597.36	4,915.92	1,740.48	5,228.85	375.59	143,858.20
Humedal costero	153,261.92	2,119.34	2,179.05	2,815.27	214.74	160,590.32
Agrícola	141,668.72	13,980.36	17,367.96	11,975.16	12,133.90	197,126.09
Cuerpos de agua	183,123.48	5,138.24	5,753.99	6,424.96	4,117.47	204,558.14
Humedal lacustre	225,930.27	6,815.65	2,767.21	14,574.80	922.43	251,010.35
Pastizal	1,231,666.70	7,413.43	6,676.65	11,976.19	1,712.78	1,259,445.75
Total general	2,280,510.78	51,125.37	47,683.01	69,429.99	24,791.96	2,473,541.12

Los Humedales con formas irregulares, son los que presentan el mayor número de fragmentos así como la mayor extensión de terreno, dominados principalmente por los Humedales lacustres. Esto debe estar asociado al desplazamiento de la vegetación natural que ahí se encuentra. Esta vegetación es sustituida por pastos tolerantes a las inundaciones, modificando la capacidad de filtración del suelo y la retención de agua (Moreno-Casasola *et al.*, 2010) transformándolas en áreas con un nivel de inundación menor (Zepeda *et al.*, 2012), lo que hace que se fragmenten cada vez más.

En el caso de los humedales costeros, se observa una amplia extensión, pero con gran cantidad de fragmentos. Esto posiblemente este influido por la presencia de

las carreteras 187 (Paraíso-Comalcalco) y 180 (Ciudad del Carmen-Villahermosa) así como caminos estatales, del mismo modo que lo encontrado por Guerra-Martínez & Ochoa (2006) para la RBPC. Esto propone que la ubicación de las vías de comunicación interrumpe el flujo de agua provocando el estrés hídrico del humedal costero y en consecuencia la disminución de la cuña salina de la cual depende la sobrevivencia de este tipo cobertura vegetal (López & Ezcurra, 2002). Otro tipo de amenazas que se suman a este problema son la extracción de madera que realizan las comunidades aledañas a los caminos para utilizarla como posterío o leña (Guerra-Martínez & Ochoa, 2006).

Índice de compactación.

El grado de fragilidad o exposición del fragmento a los efectos de la matriz, presentan valores principalmente cercanos a uno, y para este caso 61.42% de los fragmentos tienen valores menores a 0.5, siendo así menos frágiles. De estos el 24.73% de los parches son frágiles. (Figura 2). Lo que nos indica que a pesar de estar muy fragmentados los parches tienen menos exposición a los efectos negativos de la matriz, por lo que aún deben conservar gran parte de su biodiversidad y servicios ecosistémicos.

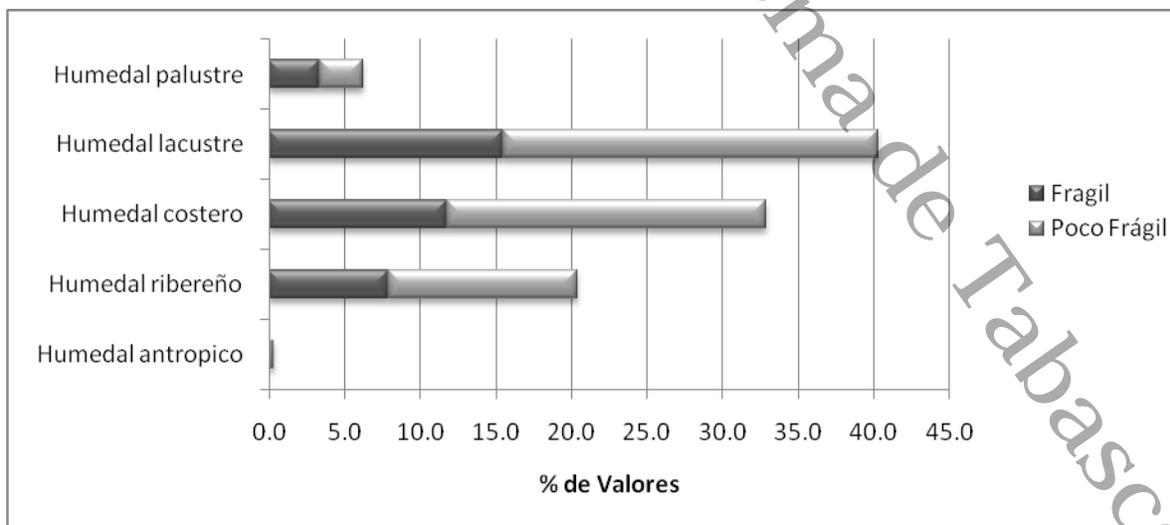


Figura 2. Porcentaje de Fragmentos con valores de fragilidad o poca fragilidad, para los Humedales del Estado de Tabasco.

Grado de fragmentación.

La fragmentación total de todo el Estado de Tabasco corresponde a un valor de $F=0.36$, que lo ubica con un grado de fragmentación Insularizado. Considerando únicamente los humedales naturales del estado de Tabasco, el valor es de $F=0.24$, lo que nos indica un grado de fragmentación insularizado, siendo no favorable para los Humedales. Este alto grado de fragmentación es favorecido por la tala para la extracción de madera legal e ilegal (López & Ezcurra, 2002; Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011). Otro factor sumamente importantes es la desecación de humedales, que favorecen la transformación de la vegetación natural en pastizales tolerantes a inundación (Zepeda *et al.*, 2012, Moreno-Casasola *et al.*, 2010).

La tendencia de fragmentación y transformación de los humedales, está favoreciendo el cambio a zonas de pastizales, los cuales de acuerdo a diferentes estudios indican que serán transformados en terrenos de uso urbano o agrícola (Moreno-Casasola, *et al.*, 2010). La conversión a este tipo de categorías es de primordial relevancia ya que se trata de coberturas permanentes que no permitirán la reconversión a coberturas naturales (Pontius *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

Los humedales del estado de Tabasco aun presentan una amplia cobertura, aunque muy fragmentada pero de acuerdo al índice de compactación muestran poca exposición a los efectos negativos de la matriz. Lo que los ubica en ecosistemas que tienen un amplio potencial de recuperarse.

El grado de fragmentación de los humedales tabasqueños los ubica en la categoría más alta de fragmentación. Los humedales Tabasqueños están muy fragmentados pero aún conservan cierta integridad, lo cual les proporciona

posibilidades para recuperarse. Es necesario tomar medidas y acciones concretas sobre su transformación a pastizales, o zonas de asentamientos humanos.

REFERENCIAS

- Baidi**, M.H. y J. Landeros. 2007. Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con la sustentabilidad. DAENA: international Journal of Good Conscience. 2(1):26-38.
- Bennet A.F.** 2004 Enlazando el paisaje. Unión Mundial para la Naturaleza. 276 Pp.
- Bueno**, J., F. Álvarez & S. Santiago (Eds.). 2007. Biodiversidad del Estado de Tabasco, México, D.F. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. 386 p.
- Brockerhoff**, E.G., H. Jactel, J.A. Parrota, C.P. Quine, J. Sayer. 2008. Plantation forest and biodiversity: oxymoron or opportunity?. *Biodivers Conserv* 17:925-951.
- Castañeda**, C. R. & Cámara, C. J. 1992. La agricultura en Tabasco. Villahermosa, Tabasco. Centro de Investigación de Ciencias Biológicas, Unidad Sierra. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- De la Lanza**, E.G., J.L. García. 1991. Sistema Lagunar Huizache y Caimanero un estudio socio ambiental, pesquero y acuícola. *Hidrobiología* 1:1-35.
- Díaz**, A. 2003. Instrumentos para la planificación integral del uso de la tierra con sistemas de información geográfica – un caso de estudio en argentina. Obtenido en: <http://edoc.huberlin.de/dissertationen/diaz-lacava-amalia-nahir-2003-07-16/HTML/N1754D.html>.
- Dirección General de Geografía - INEGI** (ed.). 2001. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Tabasco en Multimedia. Aguascalientes, Aguascalientes, Ags., México.
- Domínguez-Domínguez**, M., Zavala-Cruz, J., & Martínez-Zurimendi, P. (2011). Manejo Forestal Sustentable de los Manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental; Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- Estrada** L., F., E. Barba M., R. Ramos R. 2013. Cobertura Temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 29(2):1414-151.
- Guerra-Martínez**, V., & Ochoa-Gaona, S.. 2008. Evaluación del Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia: Trópico Húmedo*, 24 (2), 135-146.
- López**, P. J., & Ezcurra, E. 2002. Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, Número especial, 27-51.
- Moreno-Casasola**, P., *et al.* 2010. Composición florística, diversidad y ecología de humedales herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México. *Bol.Soc.Bot.Méx*, (87), 29-50.

- Naeem**, S., D. E. Bunker, A. Hector, M. Loreau, Ch. Perrings. 2009. Biodiversity, Ecosystem functioning, & Human Wellbeing: an ecological and economic perspective. Oxford Biology. New York. 368 p.
- Patton**, D.R. 1975. A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin*, 3, 171-173.
- Pérez**, A. L., Sousa S., M., Hanan, A. M., Chiang, F., & Tenorio, P. 2007. Vegetación Terrestre. Cap. 65-110. En: Bueno, J., F. Álvarez & S. Santiago (Eds.), Biodiversidad del Estado de Tabasco, 386 p. México, D.F. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO].
- Pincheira-Ulbrich**, J., Rau, J.R., y Peña-Cortés, F. 2009. Tamaño y forma de fragmentos de bosque y su relación con la riqueza de especies de árboles y arbustos. Buenos Aires, Argentina. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 78, 121-128.
- Pontius**, R. G., Shusas, E. & McEachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (101), 251-268.
- Priego** Santander P., A. G. Bocco, M. mendoza y A. Garrido. 2008. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes: fundamentos y Métodos. SEMARNAT. INE. Centro de Investigaciones en Geografía ambiental, UNAM. 98 p.
- Sánchez**, A. J., & Barba, E. 2007. Biodiversidad de Tabasco. Cap. 1:1-16. En: Bueno, J., F. Álvarez & S. Santiago (Eds.), Biodiversidad del Estado de Tabasco, 386 p. México, D.F. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO].
- Tudela**, F. 1989. La modernización forzada del trópico: El caso Tabasco. Proyecto Integrado del Golfo. Primera edición. México, D.F.: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados; Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social; El Colegio de México, A.C.
- Twedt**, D.J., Uihlein, W. B., y Blaine, A. 2006. A Spatially Explicit Decision Support Model for Restoration of Forest Bird Habitat. *Conservation Biology*, 20 (1), 100-110.
- Zepeda**, G. C., Antonio, N. X., Lot, H. A., & Madrigal, U. D. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (78) 48-61.

Capítulo de Libro: La biodiversidad en Tabasco: Estudio de Estado.**Sección *Amenazas y Oportunidades*. CONABIO.****CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA PETROLERA Y SU IMPACTO EN LA FAUNA SILVESTRE.**

Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Elías José Gordillo Chávez, Juan de Dios Valdez Leal, Fabiola de la Cruz Burelo, Eduardo Moguel Ordoñez y Lilia María Gama Campillo.

Introducción

La infraestructura petrolera es necesaria para la extracción y distribución del petróleo la cual requiere de diferentes etapas: exploración, perforación, producción y distribución. Cada etapa presenta diferentes impactos para el medio ambiente y la biodiversidad (Roso y Meneses 2005, Naugle 2011). El impacto de los daños estará asociado al tipo e intensidad de la actividad. Según O'Sullivan (1999) y Conesa-Fernández (2010) los impactos que ocasiona la infraestructura petrolera pueden clasificarse como:

- Cualitativos: se basan en juicios de valoración.
- Espaciales: dependen de la extensión ya sean puntuales, parciales o extendidos.
- De respuesta: están en función de la capacidad para revertirse, mitigarse o no revertirse.
- Temporales: son los continuos o discontinuos.
- Ordinales: se basan en la acción y se clasifican en directos e indirectos.
 - a) Directos: aquellos en los que se determina la causa-efecto.

- b) Indirectos: cuando el efecto es interdependiente.
- Acumulativos: son aquellos cuyos efectos se van adicionando hasta rebasar la capacidad de recuperación del sistema, es decir, hasta la pérdida de la resiliencia.

El efecto de los impactos en la vida silvestre depende en gran medida de la escala espacial y temporal, así como de la magnitud del impacto. De acuerdo a la escala espacial es posible dimensionar si el efecto de los impactos es sobre un grupo de individuos, una población o una comunidad de vida silvestre. Sin embargo, la escala temporal no presenta una relación lineal con la espacial, por lo que dependiendo de los indicadores que se usen para evidenciar el impacto, será necesario definir el tiempo de las mediciones. Por otra parte, el incremento de la severidad de un impacto es responsable de que sea posible la recuperación ante el mismo.

Impactos directos, indirectos y acumulativos a causa de las actividades petroleras en el Estado

En Tabasco la industria petrolera realiza principalmente actividades de exploración, perforación y producción. La prospección sísmica es un sistema de cuadrícula de varios kilómetros cuadrados en la cual se realizan detonaciones para realizar una lectura a través de sistemas de sonar, y determinar los posibles yacimientos. La perforación y producción implica la construcción de caminos de acceso a una zona o localización, en donde se ubica equipo especializado que localiza un objetivo a perforar. La perforación y producción, requieren del ingreso

de maquinaria y equipo, por lo que puede demandar la ampliación de las localizaciones; en caso de pozos productivos, incluye la construcción de infraestructura adicional con ductos y áreas especiales para otro tipo de instalaciones complementarias.

Estas actividades causan impactos negativos directos (cuadro 1) e indirectos (cuadro 2) en la fauna silvestre. Se han realizado diversos estudios sobre los impactos directos a causa de la construcción de infraestructura carretera (Delgado *et al.* 2004, Kaseloo 2005); sin embargo, hace falta realizar estudios sobre los impactos indirectos. En Tabasco se sabe que en una década (1970-1980) la infraestructura carretera pasó de 103 m/km² a 206 m/km² (Tudela 1992), pero a la fecha no existe ningún estudio sobre el impacto indirecto que genera la operación de dicho incremento en la infraestructura.

Cuadro 1. Impactos directos a causa de la actividad petrolera en el estado.

Causa	Efecto	Fuente
Actividades de deforestación en todas las etapas del proceso de obtención de hidrocarburos	Pérdida de hábitat	Hebblewhite 2011, Nellemann <i>et al.</i> 2003, Navas y Rodríguez 2010.
	Afectación de la fauna silvestre. Desplazamiento de la fauna a otros sitios especialmente en época de cría	Dyer <i>et al.</i> 2001; Nellemann <i>et al.</i> 2003, Vistnes <i>et al.</i> 2004
Apertura de brechas para sísmica	Favorecen los frentes de colonización y de extracción ilegal de recurso naturales, tales como fauna o flora para su uso o comercialización.	Navas y Rodríguez 2010. Mayet <i>et al.</i> 2006.
Instalación de caminos	Mortandad de la fauna por colisión con vehículos.	Mayet <i>et al.</i> 2006, Seiler 2001.
Efecto de borde del camino	Colonización por especies plaga en los hábitats aledaños a las zonas afectadas. Pérdida de especies que se alejan de los bordes.	Nellemann <i>et al.</i> 2003, Seiler 2001.

Incremento de actividades antrópicas en el área de las obras	Disminuye la presencia de la fauna local, ya que evitan la contaminación lumínica y química generada por las actividades.	Nelleman <i>et al.</i> 2003, Vistnes <i>et al.</i> 2004.
Emisión de sonidos durante las prospecciones sísmicas o la remoción de cobertura para el brecheo	Modificación del comportamiento de muchas especies. Perturbación principalmente de mamíferos y aves	Bravo 2007, Kolowski y Alonso 2010
Luz permanente	La luz artificial altera los patrones normales de luz, lo que ocasiona la muerte de algunas especies que colisionan, o que se desorientan. Este tipo de luz atrae insectos, por lo que cambia el comportamiento de los animales consumidores de insectos, como los sapos, que se agrupan en estas fuentes de luz.	Longcore y Rich 2004.
Derrames	Afectan inicialmente a todas las especies que se encuentran o hacen uso del hábitat contaminado, principalmente aves, anfibios y reptiles de hábitos acuáticos.	Ben-David <i>et al.</i> 2001, García López <i>et al.</i> 2006; Bravo 2007, Halliday y Kraig 2007, Hovey 2002. Seiser <i>et al.</i> 2000.
	Contaminación de las zonas de forrajeo de otras especies. Su alcance es mayor si los ejemplares contaminados son consumidos por depredadores (bioacumulación).	Peterson <i>et al.</i> 2003.
	Cambios en la composición de especies. Al desaparecer las especies afectadas de forma directa, aparecen otras oportunistas, lo que ocasiona el cambio en la estructura de la comunidad.	Peterson 2001.

Cuadro 2. Impactos indirectos por la actividad petrolera.

Causa indirecta	Efecto	Fuente
Modifica los patrones culturales y de consumo de los habitantes locales.	Se incrementa la cacería por la demanda de piezas de fauna para comercialización.	Laurance <i>et al.</i> 2009, Suárez <i>et al.</i> 2009
Apertura de caminos que facilitan el acceso a las instalaciones petroleras ¹	Fragmentación del hábitat.	Laurance <i>et al.</i> 2009, Walker <i>et al.</i> 1987

¹Este el caso de Tabasco, donde el acelerado crecimiento de la industria petrolera generó la construcción de caminos para el acceso de sus infraestructuras y para satisfacer la demanda de los trabajadores que inmigraron al estado (Tudela 1992). Como una práctica común de la actividad petrolera, la apertura de caminos para acceso a las instalaciones se incrementa, siendo quizás una de las grandes amenazas a la vida silvestre en la actualidad.

	Al contar con más vías de acceso se favorecen los frentes de colonización, ocasionando pérdida de hábitat y el incremento de las amenazas a la biodiversidad por el aprovechamiento que se hace del recurso.	Laurance <i>et al.</i> 2009, Mayet <i>et al.</i> 2006, Navas y Rodríguez 2010.
Contaminación	Este tipo de actividades en sus distintas etapas ocasiona emisiones atmosféricas, genera desechos sólidos peligrosos; que contaminan el aire, las aguas y el suelo, y la biodiversidad asociada a ellos.	Galván <i>et al.</i> 2007.

Considerando que las carreteras son muy importantes para el desarrollo de las comunidades, pero que además son punta de lanza para el deterioro de los ecosistemas, De la Cruz (2009) realizó un análisis de la dinámica de las carreteras con respecto a las instalaciones de la industria petrolera y el crecimiento demográfico del área. Para ello realizó un análisis cartográfico sobre el cambio de la red carretera en el ejido Nuevo Centla, municipio de Centla durante el periodo 1984-2008, utilizando fotografías aéreas (1984) e imágenes de satélite (2008). Se generaron y analizaron las coberturas en ArcView 3.3, y se realizó un buffer de 100 m alrededor de las carreteras identificadas, para analizar los cambios. Con los datos obtenidos se construyó una matriz de transición y un modelo de cambio para mostrar las probabilidades de modificación en el manglar, por la red carretera. Se observó que en 1984 la red carretera de la zona era de 60.23 km entre estatales y federales, sin registrar actividad petrolera en ese año. Para el 2008 la red había aumentado 37.85 km, con un total de 98.08 km de carreteras y el establecimiento de un campo petrolero, registrando afectaciones en 4.56 ha, de las que solo 0.11 ha correspondieron directamente al área de manglar. Sin

embargo, la construcción de tres carreteras como acceso previo a las plataformas petroleras (dos de pavimento y una de terracería), se realizó en 90% sobre fragmentos de manglar, ocasionando una pérdida de 550 ha, por los efectos indirectos del proceso constructivo.

Para el 2008 se identificó el establecimiento de tres plataformas de perforación utilizadas en la explotación de gas e hidrocarburos, por lo que es común asociar a esa industria con la deforestación que se presenta en el área, pero se debe tener en cuenta que la mayoría de los impactos no son generados por esas instalaciones que ocupan un espacio definido y al término de la actividad son abandonadas, regenerándose en muchos casos la vegetación (De la Cruz 2009).

Se observó también que en el área de estudio, el establecimiento de la plataforma de perforación no provocó una alteración como tal de los fragmentos de manglar ubicados en el sitio, pero se observó que la construcción de la red de carreteras propició el desarrollo de actividades paralelas como la ganadería, la explotación forestal, -incluyendo la extracción de madera para carbón, postes y leña- y el crecimiento de los asentamientos humanos en áreas que en un principio eran inaccesibles para las personas.

La amenaza potencial más grave que presentan los ecosistemas por la infraestructura carretera, son los impactos ambientales indirectos que no se evalúan en el escenario de su construcción, que son los que provocan la mayor afectación a los ecosistemas y con base en el análisis realizado se encontró que la relación entre el manglar y el establecimiento de la vía de comunicación, derivó en

la pérdida de superficie de ese ecosistema y de las funciones que realiza (De la Cruz 2009).

Los impactos directos o indirectos pueden tener impactos acumulativos o sinérgicos, pocas veces analizados. Cuando el medio ambiente afectado carece de mecanismos para revertir los impactos negativos de la industria, en un lapso similar o menor al incremento progresivo de las actividades que los provocan, estamos ante una ocurrencia acumulativa. Los impactos acumulativos se refieren a la acción de dos o más causas cuyos efectos son superiores a su simple suma individual (Conesa-Fernández 2010). Por esta razón, todos los impactos deben ser analizados en forma conjunta, considerando todas las obras que generen efectos multiplicadores y no de forma separada.

Los impactos acumulativos pueden ser evidenciados a una escala a nivel de paisaje. A esta escala se observa que la actividad petrolera ha ocasionado la interrupción de flujos de agua, fragmentación del hábitat, obstaculización del paisaje o su pérdida para la conservación de la vida silvestre, además de afectar la calidad visual del paisaje. La modificación y ampliación de canales naturales para su uso como medio de tránsito, ha ocasionado fuertes impactos en ambientes acuáticos a escala local y de paisaje (Jae-Young *et al.* 2004). La suma de estos elementos ocasiona alteraciones a nivel de las relaciones entre las diferentes especies que se localizan en los ecosistemas (Johnson y St-Laurent 2011).

Medidas preventivas y recomendaciones

Como se explicó en el presente trabajo, la fauna silvestre del Estado ha sido impactada de forma directa e indirecta a causa de las actividades petroleras, principalmente a causa de los derrames. La herpetofauna tiene la desventaja de que sus áreas de desplazamiento son reducidas (Carr y Fahrig 2001, Coffin 2007), por lo que es necesario evaluar los impactos en este grupo. Las aves también son vulnerables, sin embargo su desplazamiento es más eficiente, por lo que una medida sería el ahuyentamiento (p.e. auditivo), con la finalidad de prevenir que se contaminen o consuman productos alterados en las áreas de derrames. Los mamíferos tienen diferentes formas de desplazamiento, por lo que la misma estrategia (ahuyentamiento auditivo) es adecuada. Otra medida importante es evitar que los animales consuman forraje en las zonas contaminadas, porque las especies ajenas al área del derrame pueden morir envenenadas y afectar a otros ejemplares.

La conservación de la fauna silvestre depende en gran medida de la disminución de las amenazas, el mantenimiento de la conectividad y especialmente del compromiso de todos los actores sociales que están involucrados en el proceso (Weitzner y Fonseca 2000).

Por ello es necesario realizar una evaluación de los impactos a causa de la infraestructura petrolera desde una escala biológica para evidenciar el efecto a largo plazo en el ecosistema, en las comunidades y en los organismos afectados (Ej. evaluar la respuesta poblacional determinando si hay cambios en abundancia,

distribución demográfica o pérdida de especies) (Johnson y St-Laurent 2011). Las evaluaciones de los impactos deben considerar como factores clave la escala espacial y temporal, así como los métodos a utilizar. Existen tres métodos para realizar las evaluaciones de los impactos, sin embargo el método de modelaje es el más utilizado (Gómez 2002, Conesa-Fernández 2010):

1. Experimental: este método es poco utilizado por el alto costo y dificultad en el diseño estadístico.
2. Observacional: poco utilizado debido a que cuenta con pocas réplicas.
3. Modelaje: método más utilizado. Permite prever la magnitud de los impactos en un marco más amplio, muestra diferentes escenarios y liga los resultados a datos de comportamiento de las especies, su capacidad reproductiva y otras variables.

La ampliación de la escala espacial y temporal de la evaluación de impacto es necesaria para obtener datos confiables de lo que ocurre con las poblaciones y comunidades de fauna silvestre locales. Es necesario incluir en las evaluaciones los impactos vinculados a peticiones de tipo social, como las relacionadas con la construcción de nueva infraestructura. Si no se consideran estos impactos, el análisis generalizado no mostrará el efecto real de la infraestructura petrolera en la fauna silvestre.

Literatura citada

- Ashenurst, A.R. y S.J. Hannon. 2008. Effects of Seismic Lines on the Abundance of Breeding Birds in the Kendall Island Bird Sanctuary, Northwest Territories, Canada. *Arctic* 61(2): 190–198.
- Ben-David, M., Duffy, L. K., & Bowyer, R. T. 2001. Biomarker responses in river otters experimentally exposed to oil contamination. *Journal of Wildlife Diseases*, 37(3), 489-508.
- Bravo, E. 2007. Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. En: http://www.oilwatch.org/doc/documentos/impactos_explotacion_petrolera-esp.pdf, última consulta: 26 de Noviembre de 2012.
- Carr, L. y L. Fahrig. 2001. Effect of road traffic on two amphibians species of differing vagility. *Conservation Biology* 15: 1071-1078.
- Coffin, A. 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography* 15: 396–406.
- Conesa-Fernández., V. 2010. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundo-Prensa. Madrid, España. 853 p.
- De la Cruz B., F. 2009. Posibles impactos de las carreteras en el manglar. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco. 94 pp.
- Delgado, J.D., J.R. Arévalo, y J.M. Fernández-Palacios. 2004. En: *Ecología Insular*. J.M. Fernández-Palacios y C. Morici (eds.). Asociación española de ecología terrestre (AEET)-cabildo insular de la palma, pp.181-225.
- Dyer, S.J., J. O'Neill, S. Wasel y S. Boutin. 2001. Avoidance of industrial development by woodland caribou. *Journal of Wildlife Management* 65: 531-542.
- Galván Rico, L.E., R. E. Reyes Gil, C. GuédezMozur, D. De Armas. 2007. Los macroprocesos de la industria petrolera y sus consecuencias ambientales. Nota Técnica. Universidad, Ciencia y Tecnología 11(43):91-97.
- García-López, E., J. Zavala-Cruz. y D.J. Palma-López. 2006. Caracterización de las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de hidrocarburos. *Terra Latinoamérica* 24(1): 17-26.
- Gómez O., D. 2002. Evaluación de Impacto Ambiental. 2da Edición. Mundi Prensa. Barcelona. 755 pp.
- Halliday, T. y A. Kraig. La gran enciclopedia de los anfibios y reptiles. Editorial Libsa. 240 pp.
- Hebblewhite, M. 2011. Effects of energy development on ungulates. En: *Energy development and Wildlife Conservation in Western North America*. D. E. Naugle (ed.). Island Press. USA, pp 71-94.
- Hovey, A. K. 2002. Effects of diet and crude oil ingestion on growth and biochemistry of captive-reared pigeon guillemots (*Cephus columba*). Thesis Master of Science. Oregon State University. 122 p.

- Jae-Young, K., J. Day, J. Barras, R. Morton, J. Johnston, G. Steyer, G. P. Kemp, E. Clairain y R. Theriot. 2004. Los impactos de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas en la disminución de los humedales costeros del delta del Misisipí. En: *Diagnóstico ambiental del Golfo de México.*, M. Caso., I. Pisanty y E. Ezcurra. (comp.). SEMARNAT, INE, INECOL, pp. 957-977.
- Johnson, C. J. y M.H. St-Laurent. 2011. Unifying Framework for Understanding Impacts of Human Developments on Wildlife. En: *Energy development and Wildlife Conservation in Western North America*. D. E. Naugle (ed.). Island Press. USA, pp. 27-54.
- Kaseloo, P.A. 2005. Synthesis of noise effects on wildlife populations. En: *Proceedings of the 2005 international conference on ecology and transportation*. C. I. Irwin, P. Garret y K.P. Mcdermontt (eds.). Center for Transportation and the environment North Carolina State University Raleigh, pp.33-35. En <http://www.escholarship.org/uc/item/9fz3s9x0#page-1>, última consulta: 9 de septiembre de 2013.
- Kolowski, J.M y A. Alonso. 2010. Density and activity patterns of ocelots (*Leopardus pardalis*) in northern Peru and the impact of oil exploration activities. *Biological Conservation* 143: 917–925.
- Laurance, W. F., Goosem, M., & Laurance, S. G. (2009). Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12), 659-669.
- Longcore, T., & Rich, C. 2004. Ecological light pollution. *Front Ecol Environ*, 2(4):191-198.
- May, R., Landa, A., van Dijk, J., Linnell, J. D., & Andersen, R. 2006. Impact of infrastructure on habitat selection of wolverines *Gulo gulo*. *Wildlife Biology*, 12(3), 285-295.
- Navas Torres, D. A., & Rodríguez Rincón, P. A. 2010. Procesos para la obtención del petróleo y los impactos ambientales generados por actividades petroleras. Monografía para optar por el Título de Especialista en Ingeniería Ambiental. Universidad industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 57 pp.
- Naugle, D. E. (ed.). 2011. *Energy development and Wildlife Conservation in Western North America*. Island Press. USA. 305 pp.
- Nellemann, C., I. Vistnes, P. Jordhoy y O. Strand. 2001. Winter distribution of wild reindeer in relation to power lines, roads and resorts. *Biological Conservation* 101:351-360.
- Nellemann, C., Vistnes, I., Jordhøy, P., Strand, O., & Newton, A. 2003. Progressive impact of piecemeal infrastructure development on wild reindeer. *Biological Conservation*, 113(2), 307-317.
- O'Sullivan, M. 1999. Evaluación de Impacto Ambiental. En: Kiely G. "Ingeniería Ambiental" Ed. McGraw-Hill. España. 1117 – 1150 pp.
- Peterson, C. H. 2001. The "Exxon Valdez" oil spill in Alaska: acute, indirect and chronic effects on the ecosystem. *Advances in Marine Biology*, 39, 1-103.
- Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., Esler, D., Bodkin, J. L., Ballachey, B. E., & Irons, D. B. 2003. Long-term ecosystem response to the "Exxon Valdez" oil spill. *Science*, 302(5653):2082-2086.

- Rozo C., J. E., J.J. Meneses R. 2005. Manejo ambiental para campos petroleros en los procesos de exploración, perforación y producción de hidrocarburos. Tesis de licenciatura. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 288 pp.
- Seiler A. 2001. Ecological effects of roads. A review. Introductory Research Essay, Department of Conservation Biology, SLU Uppsala 9:1–40.
- Seiser, P. E., Duffy, L. K., David McGuire, A., Roby, D. D., Golet, G. H., & Litzow, M. A. 2000. Comparison of Pigeon Guillemot, *Cephus columba*, Blood Parameters from Oiled and Unoiled Areas of Alaska Eight Years After the Exxon Valdez Oil Spill. *Marine Pollution Bulletin*, 40(2), 152-164.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario oficial de la Federación (DOF), jueves 30 de diciembre de 2010.
- Sosa, S.B., Isaac-Márquez, R, Eastmond, A, Ayala, ME, & Arteaga, MA. 2010. Educación superior y cultura ambiental en el sureste de México. *Universidad y ciencia*, 26(1):33-49.
- Suárez, E. M. Morales, R. Cueva, V. Utreras Bucheli, G. Zapata-Ríos, E. Toral, J. Torres, W. Prado & J. Vargas Olalla. 2009. Oil industry, wild meat trade and roads: indirect effects of oil extraction activities in a protected area in north-eastern Ecuador, *Anim. Conserv.* 12, 364–373.
- Tudela, F. 1992. La modernización forzada del trópico: El caso de Tabasco. COLMEX-CINVESTAV-IFIAS-UNRID. México.
- Vistnes, I., Nellemann, C., Jordhøy, P., & Strand, O. 2004. Effects of infrastructure on migration and range use of wild reindeer. *Journal of wildlife management*, 68(1), 101-108.
- Walker, D. A., P. J. Webber, E. F. Binnian, K. R. Everer, N. D. Lederer, E. A. Nordstrand, M. D. Walker. 1987. Cumulative Impacts of Oil Fields on Northern Alaskan Landscapes. *New Series*, Vol. 238 (4828):757-761.
- Weitzner, V. y M. Fonseca. 2000. Cahuita, Limón, Costa Rica: del conflicto a la colaboración. En: *Estudios de casos de conflictos socio ambientales. Serie "Del conflicto a la colaboración No.2"*. *Red de Manejo de Conflictos Socio ambientales*. A. Aguilar, F. Paniagua y A. Garita (eds.). CEDARE.



CONABIO

COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

Dirección General de Cooperación Internacional
e Implementación

México, D.F. a 31 de enero de 2014

A quien corresponda:

Hago constar que la contribución "*Infraestructura petrolera y su impacto en la fauna silvestre*", autoría de **Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Elías José Gordillo Chávez, Juan de Dios Valdez Leal, Fabiola de la Cruz Burelo, Eduardo Moguel Ordoñez y Lilly Gama**, fue revisada por el Comité Editorial y ha sido aceptada por la CONABIO para publicarse en el libro *La biodiversidad en Tabasco: Estudio de Estado*, dentro de la sección *Amenazas y oportunidades*.

Se extiende la presente para los fines que al interesado convenga, en la Ciudad de México, a 31 días del mes de enero del año dos mil catorce.

Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente,

Dra. Andrea Cruz Angón
Coordinadora de Estrategias de Biodiversidad y Cooperación Internacional
CONABIO

Revista INTERCIENCIA

CAPÍTULO 5. MORTALIDAD DE FAUNA EN CARRETERAS DE LA ZONA COSTERA TABASQUEÑA.

M. en C. Coral Jazvel Pacheco Figueroa*, Biol Ruth Del Carmen Luna Ruiz, M. en C. Elías José Gordillo Chávez, M. en C. Juan de Dios Valdez Leal, Biol. Esmeralda Marcelo Guadarrama, Dra. Lilia María Gama Campillo M.C. Eduardo Moguel Ordoñez, M.C. Joel Sáenz Méndez, Dra. Ena Edith Mata Zayas, Dr. Stefan Arriaga Weiss, Dr. Luis José Rangel Ruíz,

*pachecoral@gmail.com

Resumen

Las carreteras provocan efectos negativos a la biodiversidad, los más evidentes son los atropellos de fauna silvestre causada por colisiones con vehículos. Con el fin de contribuir a la protección de fauna silvestre en Tabasco y producir información para acciones de mitigación, se estableció como objetivo determinar las especies de vertebrados afectados en la vía de carreteras de la zona de Costa del estado de Tabasco. Se hicieron un total de cinco recorridos en promedio de los 205 kilómetros de carreteras seleccionadas de la costa. Se obtuvieron 517 registros distribuidos en 53 especies. *Rhinella marina* es la especie más abundante. El 66% son omnívoros. Se estimó un IKA de 0.46 Individuos atropellados/Km. Diez especies están en alguna categoría de protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Es urgente establecer medidas para proteger la fauna que es afectada por colisiones, siendo la implementación de reductores de velocidad, una medida que podría dar resultados favorables.

SUMMARY

Roads cause negative effects on biodiversity, the most obvious are the abuses of wildlife caused by collisions with vehicles. To contribute to the protection of wildlife in Tabasco and produce information for mitigation actions, was established aimed at determining vertebrate species affected in the way of roads in the area Coast state of Tabasco. A total of five trips were made on average 205 kilometers of coastal roads selected. 517 records distributed in 53 species were obtained. *Rhinella marina* is the most abundant species.

66% are omnivores. Individuals IKA 0.46 one run over / Km was estimated. Ten species are in some category of protection of NOM-059-SEMARNAT-2010. It is urgent to establish measures to protect wildlife that is affected by collisions, with the implementation of speed humps, a move that could give favorable results.

RESUMO

Estradas causar efeitos negativos sobre a biodiversidade, o mais óbvio são os abusos de animais selvagens causadas por colisões com veículos. Para contribuir para a proteção da vida selvagem em Tabasco e produzir informações para ações de mitigação, foi criada com o objectivo de determinar as espécies de vertebrados afetadas em termos de estradas na área estado de Tabasco Coast. Um total de cinco corridas foram feitas, em média, 205 km de estradas costeiras selecionados. 517 registros, distribuídos em 53 espécies foram obtidos. *Rhinella marina* é a espécie mais abundante. 66% são onívoros. Indivíduos IKA 0,46 um atropelamento / Km foi estimado. Dez espécies estão em alguma categoria de proteção de NOM-059-SEMARNAT-2010. É urgente estabelecer medidas para proteger a vida selvagem que é afetada por colisões, com a implantação de quebra-molas, um movimento que poderia dar resultados favoráveis.

Introducción

El proceso de expansión en las últimas décadas de las infraestructuras lineales de transporte como lo son las carreteras, ha afectado a una gran diversidad de ambientes y diferentes procesos (Gurrutxaga & Lozano 2010). Entre los efectos que provocan hacia el medio ambiente se puede mencionar la fragmentación de ecosistemas, alteraciones en los ciclos hidrológicos, cambios microclimáticos, producción de material particulado y de ruido y contaminación de las aguas del suelo; además provoca otros impactos indirectos, como la reconversión del uso del suelo y reducción de hábitat y biodiversidad producto de la colonización (Arroyave *et al.* 2006)

Un efecto negativo puntual que provocan las carreteras son los “atropellos”. Este se refiere al hallazgo de animales muertos que se encuentran en los caminos a causa de colisiones por vehículos (Gottdenker *et al.*, 2001). La magnitud de los atropellamientos depende de diversos factores, entre los que se destacan la ubicación de la carretera en el paisaje (Andrews & Jochimsen, 2007) y el comportamiento de la fauna respecto al eje viario (Rojas, 2010; Forman & Alexander 1998; Gurrutzaga & Lozano, 2010) entre otros agentes (Mercado, 2011).

En años recientes, estudios diversos han expuesto a las carreteras como una de las grandes amenazas a la biodiversidad (Arroyave *et al.*, 2006), si ubicamos este problema dentro de la zona costera de Tabasco, las carreteras representan una amenaza para la fauna silvestre que ahí habita, impidiendo la conectividad y actuando como barrera, esta zona representa tan solo un 3.20% de toda la extensión territorial en el estado por tanto es crucial realizar investigaciones que expongan la problemática y de este modo realizar acciones para contribuir a preservar la conectividad dentro de la zona costera.

El presente trabajo tuvo como objetivo estimar la riqueza, composición y abundancia relativa de vertebrados afectados por la colisión con automóviles en la vía de carreteras que se encuentran dentro de la zona de Costa del estado de Tabasco.

Método

Área de estudio

Se realizó la delimitación de la zona costera usando como referencia los límites propuestos por Palma *et al.* (2006). Se ubicó la cartografía de carreteras, teniendo como base la capa de carreteras del estado de Tabasco obtenida de la página de la INEGI. Se reclasificó la capa de carreteras mediante el programa ArcGis 9.3, clasificando y seleccionando solo las carreteras pavimentadas y autopistas,

localizadas dentro de la zona costera (INEGI, 2012). Como resultado se obtuvo un total de 306.36 km de vía carreteras dentro de la zona de costa de Tabasco. Se verificó en campo la accesibilidad de muestreo de las carreteras y se hizo una reducción a 205km con características de acceso y seguridad, para el muestreo (Figura 1).

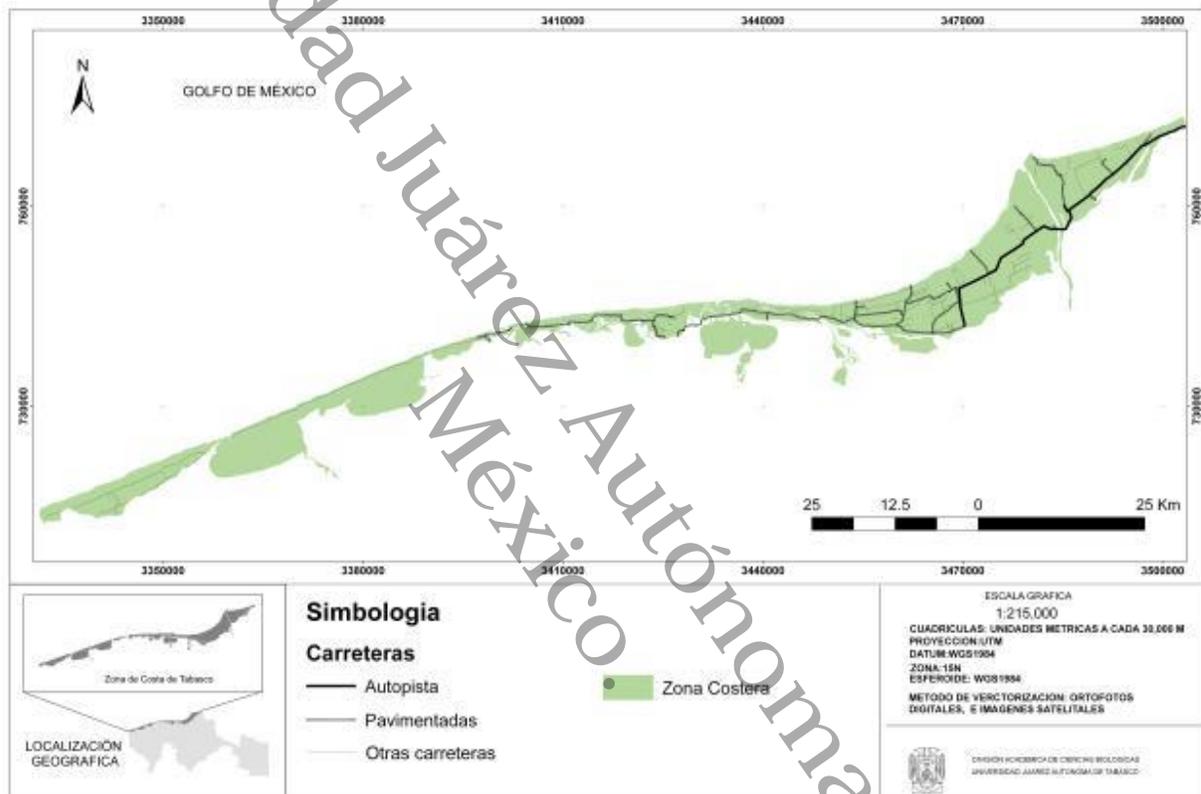


Figura 1. Carreteras de la zona costera del estado de Tabasco, recorridas para el inventario de fauna colisionada.

Colecta de datos

Las carreteras fueron recorridas sistemáticamente para la búsqueda de registros de atropellos. Se recorrió cada tramo con ayuda de un vehículo a una velocidad promedio de 20 km/hr (Pragatheesh y Rajvanssi, 2013). El recorrido en vehículo tiene la ventaja de recorrer mayores distancias en menor tiempo (Lange *et al.* 2007). El horario de estos recorridos fue a las primeras horas del día de 6:00 a

11:00 hrs, esto con el fin de evitar que los animales carroñeros se lleven los cuerpos de las carreteras (Colino, 2011, Lange *et al.* 2007). Con el propósito de tener un acercamiento general a la fauna atropellada en la zona, los recorridos se hacían una vez al mes (Ascensao y Mira, 2005), para acumular cuatro recorridos por carretera.

El registro era realizado cada vez que se encontraba un individuo atropellado sobre la franja de los tramos carreteros. Se procedió a georeferenciar el sitio de la colisión utilizando un GPS Garmin Etrex 20® (Bagner y Rosas, 2010). Se identificó el ejemplar y en los casos que esto no fue posible, se tomaron evidencias fotográficas y medidas de los individuos con el fin de comparar posteriormente con las guías de campo, o por consulta a expertos. Se registraron los datos del individuo. Posteriormente fueron retirados los individuos de la carretera para evitar un doble conteo (Gonzales, 2011).

Con los registros obtenidos se formó una base de datos que contiene: nombre común, nombre científico, clasificación taxonómica, coordenadas, tipo de muestreo, fecha de muestreo fuente, y se colocó para cada especie su estatus según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y gremio alimenticio. Adicionalmente se tomaron las coordenadas de inicio y fin de cada uno de los recorridos (Bagner, 2013).

Análisis de Datos

Se seleccionaron los datos de los registros identificados a nivel de grupo, para el registro de las colisiones y para el análisis solamente se utilizaron los individuos identificados a nivel de especie.

La riqueza específica, está dada por el número total de especies registradas durante el trabajo de campo. Por lo que se estimó la riqueza específica, así como la abundancia por grupo taxonómico de los individuos colisionados.

La diversidad se determinó mediante el uso del Índice de Diversidad Shannon-Wiener. Se calculó con base en la riqueza de especies y su representatividad, mediante el número de especies por tipo de carretera muestreada (Moreno, 2001). Se usó la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

p_i = es la abundancia proporcional de la especie

La composición es la representación, en cualquier forma, de la cantidad o abundancia de representantes de cada grupo taxonómico en ella. Por lo que se tomaron las estructuras de gremios, los cuales comprenden a un grupo de especies que comparten una característica común o que explotan un recurso ambiental común. Las especies serán agrupadas según su hábito alimenticio (Stewart & Woolbright, 1996).

Se estimó el índice kilométrico de abundancia (IKA), el cual es una medida de frecuencia que expresa mediante un valor numérico, obtenido de dividir el número de atropellos localizados por el de kilómetros recorridos. El IKA se calculó individualmente para la especie más atropellada de cada grupo taxonómico y se calculó por el tipo de carretera.

Resultados

Se realizaron cinco recorridos en promedio de los 205 kilómetros de carreteras seleccionadas de la costa, de febrero a octubre del 2013. De estos 45Km son de carreteras clasificadas como autopistas, y 160km son clasificados como carreteras pavimentadas (INEGI, 2012). Obteniendo un total de 517 registros de atropellamiento de los cuales 59 son de animales domésticos. En 28 registros, la identificación sólo se pudo hacer a nivel de clase, por el nivel de daño de los restos. De los cuales 11 son aves y el restante mamíferos.

Se obtuvo una riqueza total de 53 especies identificadas (Tabla 1). Siendo las aves el grupo que presenta la mayor riqueza seguido de los reptiles.

TABLA I
RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE ESPECIES IDENTIFICADAS COMO COLISIONADAS EN LAS CARRETERAS DE LA COSTA TABASQUEÑA.

CLASE	Riqueza	Abundancia
Aves	23	143
Mamíferos	12	194
Anfibios	3	93
Reptiles	15	48
TOTAL	53	478

Las aves son el grupo que presento el mayor número de Ordenes, Familias y Géneros (Tabla 2). Pero la abundancia de registros la presentan los mamíferos, influida principalmente por la presencia de gatos y perros domésticos.

TABLA II
TOTAL DE ORDENES, FAMILIAS Y GÉNEROS IDENTIFICADOS COMO COLISIONADOS EN LAS CARRETERAS DE LA COSTA TABASQUEÑA.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENEROS
Aves	15	18	23
Mamíferos	5	8	13
Anfibios	1	1	3
Reptiles	2	6	17
TOTAL	23	33	56

La especie que presentó la mayor abundancia de atropellos en todo el estudio fue el sapo marino (*Rhinella marina*) con total de 125 registros. Para el caso de las aves el Zorzol (*Glaucidium brasilianum*) y el zanate (*Quiscalus mexicanus*) fueron los más abundantes con 16 registros cada uno. Para los mamíferos del género de los tlacuaches (*Didelphis*), presentaron la mayor abundancia con 80 registros. En los reptiles las iguanas (*Iguana iguana*), son las más abundantes con 14 registros.

Se registró un valor de diversidad de 3.01 para todo el muestreo. Con una diversidad muy similar entre carreteras pavimentadas ($H' = 2.68$) y autopistas ($H' = 2.90$). La época de lluvias presentó una mayor diversidad ($H' = 3.07$), que la época de secas ($H' = 2.82$).

Los gremios que presentan la mayor abundancia son los omnívoros con 319 registros, equivalentes al 66.6%. Tanto en la época seca como lluvias los omnívoros dominaron con un 69.2% y 62.07 % de registros, respectivamente.

Los anfibios y los mamíferos son principalmente omnívoros en ambas épocas. En cambio las aves son principalmente omnívoras en época de secas, pero insectívoras en época de lluvias. En el caso de los reptiles son principalmente herbívoros en la época seca y carnívoros en la época de lluvias (Figura 2).

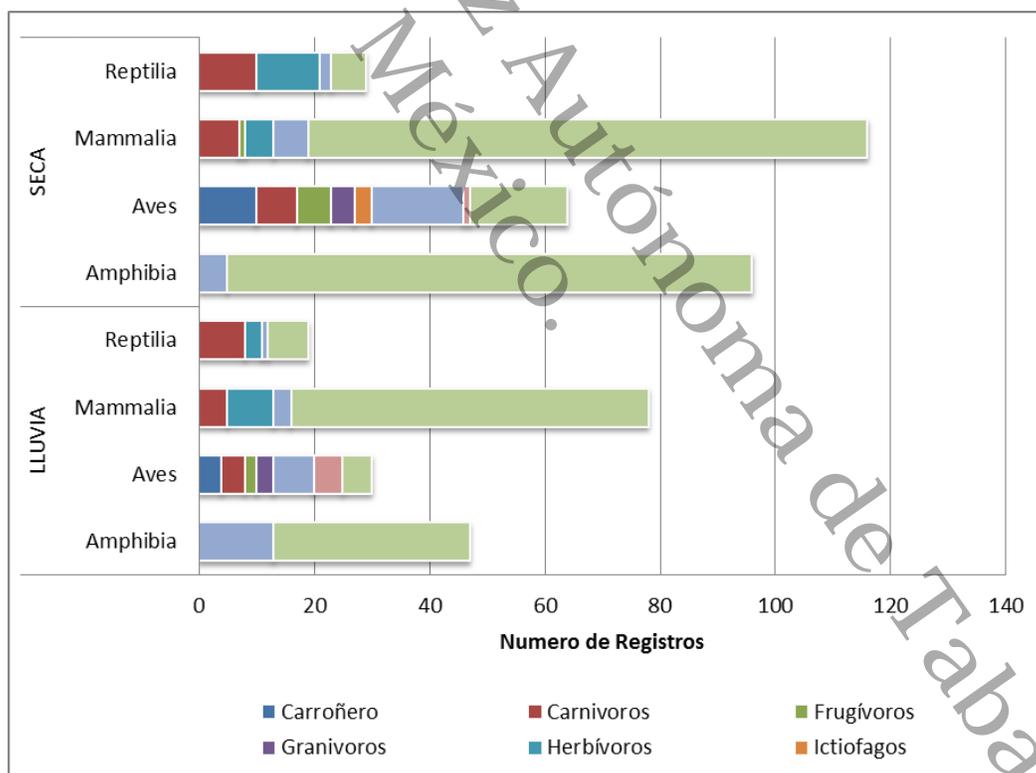


Figura 2. Distribución de frecuencia de registros por gremios en época de lluvias y secas para cada grupo taxonómico, en las carreteras de la costa Tabasqueña.

El IKA global para el estudio es de 0.46 individuos atropellados/Km. Para la autopista es de 0.58 Individuos atropellados/Km y de 0.43 Individuos atropellados/Km para las carreteras pavimentadas. El IKA por temporada se presenta más alto en la época de secas, influido principalmente por los valores vistos de las carreteras pavimentadas que presentan un IKA de 0.41 individuos atropellados/Km (Figura 3).

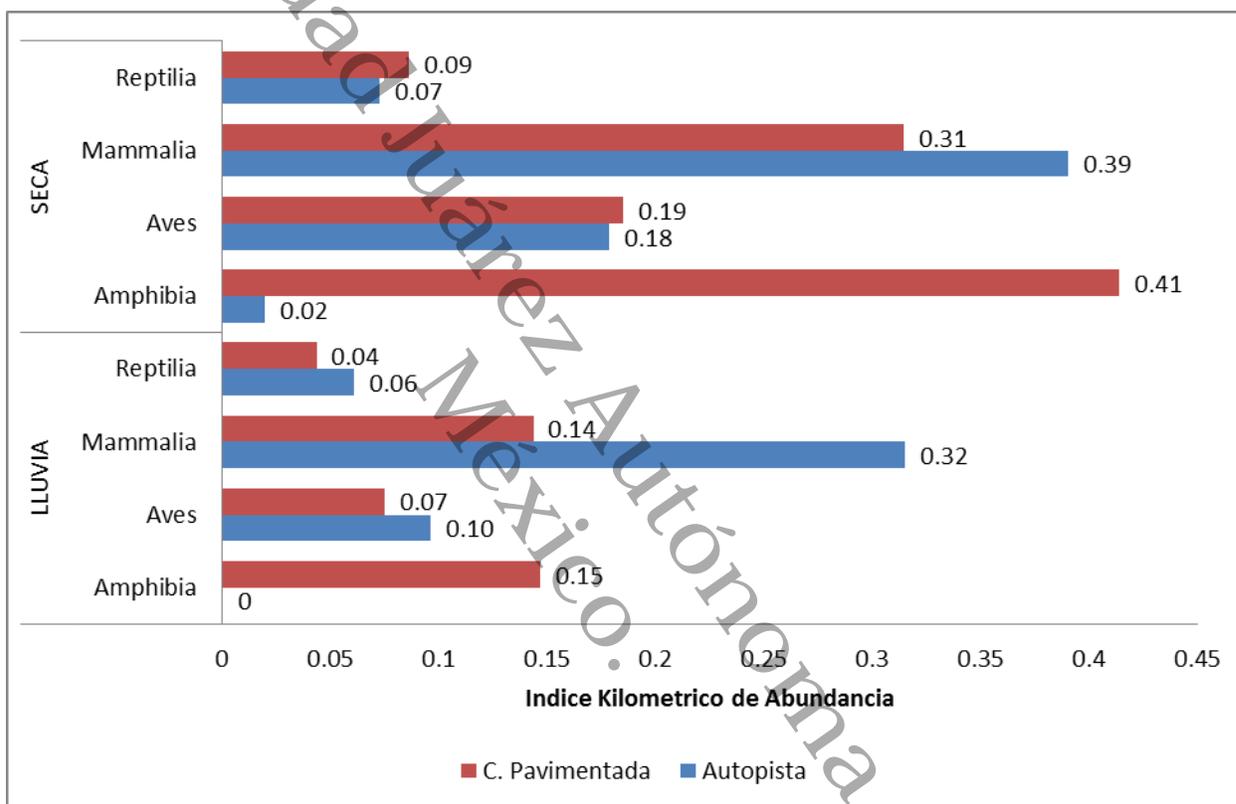


Figura 3. Índice Kilométrico de Abundancia (IKA), por época y grupo taxonómico, en las carreteras de la costa Tabasqueña.

Los anfibios son los que tienen el más alto valor de IKA en las carreteras pavimentadas, especialmente en la época de secas (0.41 individuos atropellados/Km), seguidos de los mamíferos, que presentan una mayor atracción por las autopistas en la época de secas (0.39 individuos atropellados/Km). Cabe resaltar la ausencia de anfibios atropellados en autopistas, en la época de lluvias.

Se encontraron un total de 10 especies en alguna categoría de protección de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, con 61 registros. Los mamíferos y los reptiles presentan el mayor número de especies (Figura 4), así como la mayor abundancia. Para las aves y anfibios, sólo se encontró una especie para cada una. En la época de secas, es cuando se registra el mayor número de especies protegidas y pertenecen al grupo de los reptiles en la categoría de Sujetas a Protección Especial (Pr).

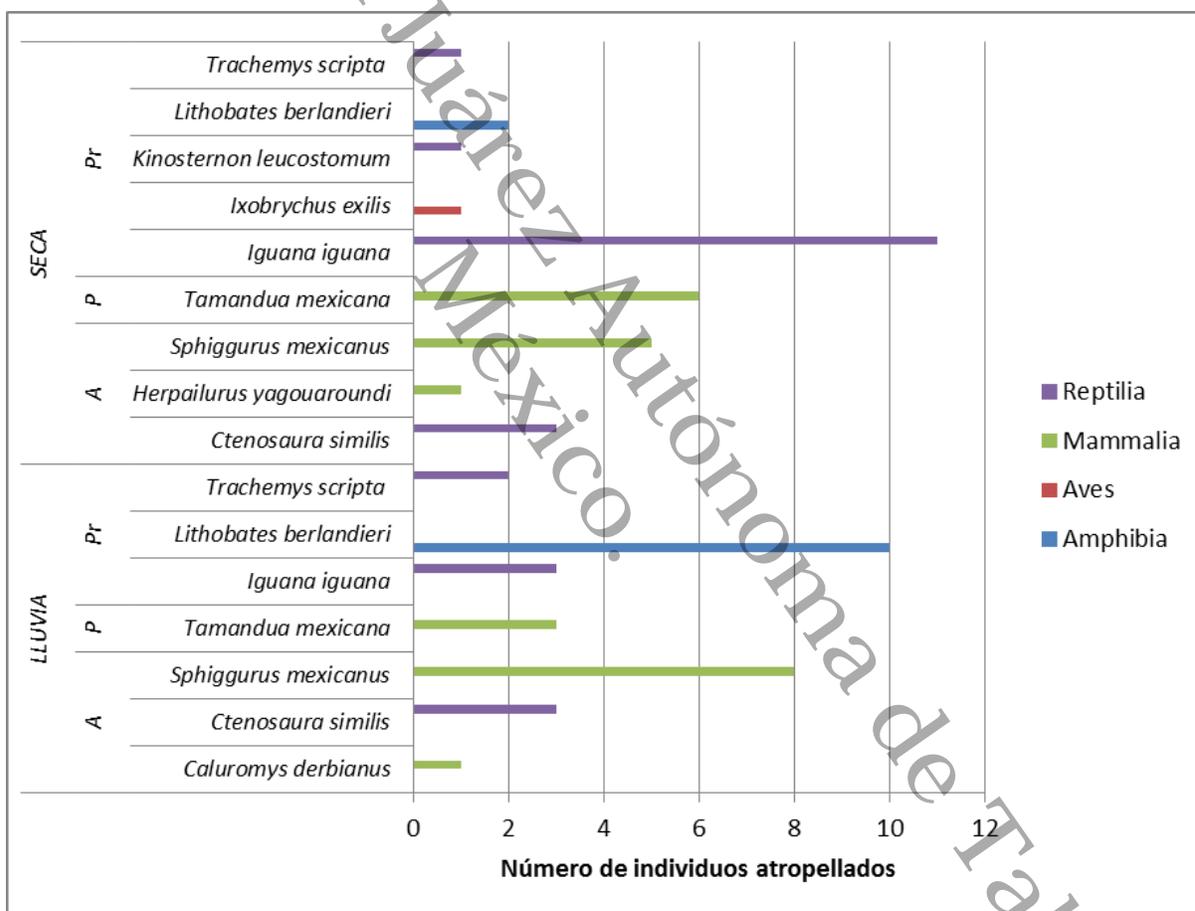


Figura 4. Número de individuos atropellados para cada especie en alguna categoría de protección por la NOM-059-SEMARNAT-2010, en las carreteras de la costa Tabasqueña.

La *Iguana iguana* (Pr), es la especie más vulnerable a los atropellos en la época seca, seguida de *Tamandua mexicana* (P). En la época de lluvias la más vulnerable es *Lithobates berlandieri* (Pr), seguida de *Sphiggurus mexicanus* (A).

Discusión

Los mamíferos y los anfibios son los grupos más afectados por las colisiones con automóviles. Aunque el impacto de las carreteras en las poblaciones de fauna silvestre difieren entre las especies (Donaldson & Bennett, 2004), para los anfibios factores como su lento movimiento, incapacidad de sentir el peligro ante los coches, y presentar tendencia a inmovilizarse en momentos de peligro, los convierten en un grupo muy frágil ante los efectos de las carreteras (Puky, 2000). Por otra parte los mamíferos pueden estar siendo atraídos a las carreteras por sus hábitos alimenticios, y su afinidad por las zonas perturbadas, como lo demuestra la alta frecuencia de mapaches (*Procyon lotor*) y tlacuaches (*Didelphis* sp.). De igual forma los mamíferos el lento desplazamiento de los osos hormigueros (*Tamandua mexicana*) y Puercoespines (*Sphiggurus mexicanus*), los vuelve vulnerables a los atropellos. Los hábitos alimenticios son un factor clave en la atracción de distintas especies a las carreteras. Las especies omnívoras pueden ser los más frecuentemente atropellados por sus hábitos alimenticios (Ford y Fahrig, 2007), siendo los tlacuaches y los mapaches los más abundantes. Es posible que estos mamíferos forrajeen frecuentemente cerca a las carreteras lo que los hace también más vulnerables (Copul-Magaña 2002, Eloy *et al.* 2013, Peris *et al.* 2005, Rojas, 2010).

La especie que presentó la mayor incidencia de atropellos fue *Rhinella marina*, la cual ha sido reportada como una especie vulnerable ante los efectos de las carreteras en el país (Morales *et al.*, 1997 Grosselet *et al.*, 2007), debido a que hacen uso de la carretera como medio para trasladarse (Brown *et al.*, 2006) así como por la influencia que tienen los cuerpos de agua en la zona (Andrew & Jochimsem, 2007; Puky, 2005), los cuales emplean para reproducirse. Es por esta razón que quizás se observa el alto valor del IKA para anfibios en los meses de lluvias, que están asociados a la temporada reproductiva.

Otros factores que influyen en la mortalidad de la vida silvestre en carreteras, tales como la velocidad y volumen de vehículos, el diseño de la carretera, el paisaje, el comportamiento de las especies y su ecología (Forman *et al.* 2003). Se ha registrado que a altas velocidades del vehículo y a grandes volúmenes de tráfico la mortalidad es mayor (Santos *et al.* 2007, Rojas, 2010,). Esto se debe a que los organismos, que llegan a la carretera se quedan paralizados, o no logran alcanzar grandes velocidades para cruzar rápidamente. Lo que puede estar asociado al incremento del IKA de mamíferos en autopistas, en donde se tienen velocidades más altas.

Las especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, son especies de lento desplazamiento que los hace aún más vulnerables a los atropellos. De los reptiles, la iguana (*I. iguana*) es la más afectada, ya que son atraídos a los caminos como sitios de asoleo (Andrews *et al.*, 2008). Además de que esta especie tiene presión por las altas tasas de explotación no sostenible, a las que se ve expuesta (Bouchot, 1999; Fitch y Henderson 1982). Los osos hormigueros (*Tamandua mexicana*) son una especie amenazada por la destrucción de su hábitat, pero a pesar de que tolera los hábitat perturbados (Ceballos y Oliva, 2005), es cada vez más vulnerable por la pérdida de ejemplares por colisiones. Los puerco espines (*Sphiggurus mexicanus*) se consideran dependientes de bosques y selvas, por lo que se consideran amenazados (Ceballos y Oliva, 2005; SEMARNAT 2010); sin embargo, se han tenido registros en hábitat altamente perturbados, pero está igualmente amenazado por los atropellos (Reid, 2009).

Conclusiones

Con los resultados de este estudio se determinó que la especie más accidentada en las vías de carreteras de la zona costera, es *Rhinella marina* y que posiblemente su mortalidad se deba a la presencia de cuerpos de agua y su movilidad en carreteras.

Se recomienda realizar más estudios de fauna silvestre en esta zona, con el fin de implementar medidas de mitigación específicas para cada especie dentro de la zona costera.

La muerte por atropellos de la fauna silvestre protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010, es un factor más de los impactos de las carreteras. Es urgente un diseño de carreteras que sea menos invasivo, además de que favorezca la recuperación del ecosistema y el flujo e interacción esenciales de flora y fauna nativa. Sin medidas adecuadas, la pérdida de fauna por atropellamientos, así como por los efectos secundarios de pérdida de hábitat entre otros, ocasionará una pérdida total de estas poblaciones locales.

I. Referencias

- Andrews KM, Jochimsen DM.** (2007). Ecological effects of roads infrastructure on herpetofauna: Understanding biology and increasing communication. Road Ecology Center, USA. 18 pp.
- Arroyave PM, Gómez C, Gutiérrez ME, Munera DP, Zapata PA, Vergara IC, Andrade LM, Ramos KC.** (2006). impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Revista EIA, ISSN 5. 45-57.
- Ascensao F. Mira A.** (2005). Spatial patterns of road kills: a case study in southern Portugal. recent work, road ecology center, John Muir Institute of the Environment, Uc Davis. 641-646.
- Baguer A, Rosa Da.CA.**(2007). Influence of sampling effort on the estimated richness of road-killed vertebrates wildlife. Environmental management 47: 851–858.
- Baguer A.** (2013). Projeto Mahal: Manual para equipe de campo. Centro Brasileño de Estudios en Ecología de Estradas. 30 pp.
- Beaudri F, deMaynadier PG, Hunter MJ.** (2008). Identifying road mortality threat at multiple spatial scale for semi-aquatic turtles. Biological Conservation 141: 2550-2563.
- Bouchot, C (1999)** *Analisis de factibilidad de manejo de la iguana verde (Iguana iguana) por comunidades rurales de las zonas bajas en la región central de Veracruz, México.* Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas. 198 pp.

- Brown GP, Phillips BL, Webb JK, Shine R.** (2006). Toad on the road: Use of roads as dispersal corridors by cane toads (*Bufo marinus*) at an invasion front in tropical Australia. *Biological Conservation* 133: 88-94.
- Ceballos G, Oliva G** (2005). *Los mamíferos silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica. 986 p.
- Colino RVJ.** (2011). Contribuciones al análisis de mortalidad de vertebrados en carreteras. Tesis profesional facultad de ciencias ambientales. Universidad de Salamanca. 509 pp.
- Copul-Magaña FG.** (2002). Víctimas de la carretera: la fauna apachurrada. *Gaceta CUC, Ciencia* 10:7.
- Donaldson A, Bennett A.** (2004). Ecological effects of roads: Implication for internal fragmentation of Australian parks and reserves. *Parks Victoria technical series, Number 12* (66).
- Ford AT, Fahrig L.** (2007). Diet and Body size of North American mammal road mortalities. *Science Direct*. 498-505.
- Forman RTT, Alexander LE.** (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review in Ecology and Systematic* 8: 629-644.
- Forman RTT, Sperling D, Bissonette JA, Clevenger AP, Cutshall CD, Dale VH, Fahrig L, France R, Goldman CR, Heanue K, Jones JA, Swanson FJ, Tur-Rentine T, Winter TC.** (2003). *Road Ecology; Science and Solutions*. Island Press, Washington DC
- Gonzales G.A.** (2011). Atropellamiento de fauna en el libramiento carretero de amozoc-cantona-perote (2010-2011). Tesis de profesional. Instituto de ecología. 82 pp.
- Gottdenker N, Wallace BR, Gómez H.** (2001). La importancia de los atropellos para la ecología y conservación: *Dinomys branickii* un ejemplo de Bolivia. *Bolivia. Ecología en Bolivia*, 35: 61-67.
- Grosselet M, Villa-Bonilla B, Ruiz MG.** (2007). Afectaciones a Vertebrados por Vehículos Automotores en 1.2Km de Carretera en el Ismo de Tehuantepec. Mexico. *Partner in Flight Conference: Tundra to Tropics*. 227-231.
- Grupos SelomeSa. De Cv.** (2011). La gestión ambiental de carreteras en México. Grupo Selome: valor ambiental compartido. 306 pp.
- Gurrutxaga SVM, Lozano VPJ.** (2010). Causa de los Procesos Territoriales de Fragmentación de Hábitat. *España. Lurralde* 33:147-158.
- Lange TA, Machniak A, Crowe EK, Manga C, Marker D, Liddle N, Roden B.** (2007). Methodologies for surveying herpetofauna mortality on rural highways. *Journal of wildlife Management* 71: 1361-1368.
- Mercado SA.** (2011). Análisis de la siniestralidad provocada por la irrupción de especies cinegéticas (Ciervo, Corzo y Jabalí) en las carreteras de la provincia de Soria. Aplicación de medidas correctoras. Tesis de doctorado. Universidad de Valladolid. 309 pp.
- Morales MJ, Villa CJT, Aguilar RSH, Barragán ML.** (1997). Mortalidad de vertebrados silvestres en una carretera asfaltada de la región de los Tuxtla, Veracruz,

- México. Parque de florida y fauna silvestre tropical. Instituto de Neuroetología. 7-23.
- Moreno EC.** (2001). Metodos para medir la biodiversidad. M&T- Manuales y Tesis SEA. Vol.1. Zaragoza. 84pp.
- Palma LDJ, Cisneros DJ, Moreno CE, Rincon RJA.** (2006). Plan y uso sustentable de los suelos de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. Volumen 1. 3ra Edic. 197 pp.
- Peris S, Baquedano R, Sánchez A, Pescador M.** (2005). Mortalidad del jabalí (*Sus scrofa*) en carreteras de la provincia de salamanca (No de España): ¿influencia de su comportamiento social?. *Galemys* 17, (1-2): 13-23.
- Pragatheesh A.,Rajvanshi A.** (2013). Spatial patterns and factors influencing the mortality of snakes on the national highway-7 along pench tiger reserve, madhyapradesh, India. *Oecologia Australis* 17 (1): 20-35
- Puky M.** (2005). Amphibian road kills: a global perspective. UC Davis: Road Ecology Center. Retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/7j7546qv> .
- Red de Carreteras Nacional.**(2012). Instituto Nacional de Geografía. Escala 1:50,000. Mapa Digital de México V5.0.
- Reid F (2009).** *A Field guide to the mammals of Central America & Southeast Mexico.* Second edition. Oxford University Press. New York. 346 p.
- Rojas CE. (2010).** Atropello de vertebrados en una carretera secundaria en Costa Rica. Cuaderno de investigación UNED. Vol.3 (1):81-84.
- Santos X, Llorente GA, Montori A, Carretero MA., Fhanch M, Garriga N, Richter-Boix A. (2007).** Evaluating factors affecting amphibian mortality on roads: the case of the common toad (*bufobufo*), near a breeding place. *Animal Biodiversity and Conservation* 30(1): 97-104.
- SEMARNAT (2010).** Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT 2010 Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de Diciembre de 2010.
- Stewart MM. y. Woolbright, LL. (1996).** Amphibians. En *The Food Web of a Tropical Rain Forest*. D.P. Reagan and R.B. Waide, editors. The University of Chicago Press, Chicago, IL. Pages 273-320.

CONCLUSIÓN GENERAL

La construcción de carreteras es un factor clave en el desarrollo de actividades paralelas como la ganadería, la explotación forestal, y el crecimiento de los asentamientos humanos en áreas que en un principio eran inaccesibles para las personas.

Los humedales Tabasqueños están muy fragmentados pero aún conservan cierta integridad que les permite recuperarse. Pero es necesario tomar medidas y acciones concretas sobre su transformación a pastizales, o zonas de asentamientos humanos. Especialmente limitar la interrupción de sus flujos hídricos, así como la apertura de caminos y fragmentación.

La fauna silvestre tabasqueña, se encuentra gravemente amenazada por los factores globales, como la fragmentación y pérdida de hábitat, introducción de especies exóticas, cacería entre otras, sin embargo el crecimiento de carreteras no sólo los afecta por las colisiones, sino también por que incrementa el aislamiento de sus poblaciones. Los humedales son sitios que pierden gran cantidad de su fauna asociada, debido a que se han fragmentado por la construcción de caminos y carreteras.

Las especies protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010, no son víctimas exclusivas de las carreteras, pero si son un importante indicador de la pérdida de las mismas, en sitios poco conservados. Estas especies han perdido su hábitat natural y actualmente están desapareciendo en su búsqueda por nuevos hábitat o por mantener la interacción de sus poblaciones.

La planicie Tabasqueña ha perdido gran parte de sus selvas, pero es necesario resaltar que existe una gran extensión de humedales naturales que aún permanecen y ofrecen gran cantidad de servicios ecosistémicos. Pero el mal manejo de los mismos, la sobreexplotación y la interrupción de flujos, no permite que se conserven en buen estado. Esto ocasionara que perdamos una gran cantidad de recursos naturales que aún se mantienen y que han sido poco valorados.

