



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESTUDIOS DE SISTEMAS LAGUNARES Y SU RELACIÓN CON  
INSTRUMENTOS DE GESTION AMBIENTAL**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUÁTICOS**

**P R E S E N T A**

**ANGEL MORÁN SILVA**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. SERGIO CHÁZARO OLVERA**

**MÉXICO, D.F.**

**MARZO, 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México  
Coordinación del Posgrado, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,  
Circuito Externo s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F. 04510  
Teléfono y Fax: (52) 56-22-5803, 5829, 5990 y 5991  
Correo electrónico: posgrado@mar.icmyl.unam.mx  
http://www.unam.mx/ciencias\_mar\_posgrado



Oficio No. PCML-00854/2009

**Biólogo Angel Morán Silva.**

**Alumno de Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos**

**Presente**

Por medio del presente, me permito informar a usted que el Comité Académico de este Posgrado, en su sesión CA/04/09 celebrada el 11 de junio de 2009 y después de analizar su solicitud, acordó:

Asignarle su Jurado para Examen de Maestría, el cual evaluará su artículo titulado "Seasonal and spacial patterns in salinity, nutrientes, and Chlorophyll a in the Alvarado Lagoonal system, Veracruz, México".

		Fecha	Firma de aceptación
Dr. Sergio Cházaro Olvera	Presidente	23-07-09	
Dra. Deni C. Rodríguez Vargas	Secretario	2-07-09	
Dr. Adolfo Gracia Gasca	Vocal	11-08-09	
Dr. Javier Carmona Jiménez	Suplente	03/07/09	
Dra. Martha Signoret Poillon	Suplente	29.7.9	

Es necesario que usted recabe las firmas de los integrantes propuestos a la brevedad y nos remita una copia, para hacer efectivos estos nombramientos.

Sin más por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad Universitaria, D.F., a 11 de junio de 2009

**DRA. GLORIA VILACLARA FATJÓ**  
Coordinadora del Posgrado

---

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi especial agradecimiento al Posgrado de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de estudiar y obtener el grado en su programa e instalaciones.

Quiero agradecer a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico DGAPA por proporcionarme el apoyo recibido a través de la asignación de beca en el programa “Becas y apoyos para la formación y superación del personal académico y de carrera” para cursar la Maestría en Ciencias Biológicas Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos.

A mi director de tesis Dr. Sergio Cházaro Olvera por apoyarme en todo momento, darme la oportunidad y confianza para concluir con este ciclo de mi vida académica, además de brindarme sus amistad.

A la Dra. Deni C. Rodríguez Vargas por su apoyo en los diversos aspectos administrativos y pronta revisión del manuscrito.

Al Dr. Adolfo Gracia Gasca por su animo para terminar con este pendiente, sus conversaciones, su disposición y por mostrarme la riqueza de crustáceos que se encuentran en las aguas de la Sonda de Campeche.

Al Dr. Javier Carmona Jiménez por su disposición y su ayuda invaluable para encontrar el camino para cerrar este ciclo que había dejado pendiente.

A la Dra. Martha Signoret Poillon por enseñarme a que debo de esforzarme mas para concluir mis metas y que la ciencia es la respuesta.



---

## AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

A Sergio Cházaro Olvera por brindarme su amistad, enseñarme lo valioso de la docencia, la pasión por la ecología, hacerme crecer y por ser parte de su sueño: hacer una mejor universidad, ¡gracias mi estimado!

Agradezco a todos mis profesores de la maestría y de los cuales me dejaron un sin fin de experiencias, conocimientos, retos y alegrías.

Quiero agradecer a mi familia, mi papá, Dona, Vero, Mat y Lala que siempre han apoyado mis loqueras y que esperaron, con paciencia y sin ella también, que concluyera esta etapa de mi vida y que había dejado en algún lado.

Para la que es la luz de mis ojos y que cambió mi vida desde que la tuve en mis brazos, esto va para ti Dai, mi corazón hermoso.

A la Facultad de Ciencias y al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de estudiar y conocer mas lo que es mi pasión: el mar, en la mejor universidad de habla hispana del mundo.



---

## INDICE

Resumen	1
Abstract	1
I. Zona costera, definición y límites.	2
II. La zona costera de México: Golfo de México	9
III. Sistemas lagunares-estuarinos: definición y características	15
IV. El sistema lagunar de Alvarado	18
a. Características principales	
b. Clima	
c. Hidrología de la cuenca del Papaloapan	
d. Clasificación morfológica	
e. Batimetría y características sedimentológicas	
f. Vegetación	
g. Riqueza ictiofaunística del sistema lagunar	
h. Avifauna	
V. Artículo: "SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN SALINITY, NUTRIENTS AND CHLOROPHYLL a IN THE ALVARADO LAGOON SYSTEM, VERACRUZ, MÉXICO".	30
VI. Instrumentos de gestión ambiental relacionados con el área de estudio	41
VII. Conclusión	60
VIII. Referencias	64



---

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Nombre</b>	<b>Página</b>
1	Geomorfología marina de los mares mexicanos	4
2	Esquema general de la zona costera	5
3	Ámbitos de influencia de la zona costera Tomado de Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México.	7
4	La zona costera, límites e interacciones.	8
5	Zona costera del Golfo de México y principales sistemas costeros.	10
6	División propuesta para el Golfo de México por Pequegnat y Pequegnat.	11
7	Sitios con actividad marítima portuaria del Estado de Veracruz.	13
8	Extensión de la zona costera del estado de Veracruz.	14
9	Esquema general de una laguna costera.	16
10	Sistema Lagunar del Alvarado, Veracruz.	18
11	Tipo de vegetación para el sistema lagunar de Alvarado.	26
12	Modelo de integración aplicado a la zona costera del Golfo de México.	42
13	Modelo de desarrollo costero integrado aplicado al Sistema lagunar de Alvarado.	43
14	Esquema simplificado de franjas batimétricas e hipsométricas que muestra espacios para ordenamiento terrestre y marino, para una Zona Costera Mínima (ZCM) concebible desde un ordenamiento marino, y la proyección de espacios de competencia administrativa y arreglos de manejo entre territorios receptores y territorios emisores.	45
15	Regiones Terrestres Prioritarias, México.	51
16	RTP 124 Humedales del Papaloapan.	51
17	Regiones Marinas Prioritarias, México.	53
18	RMP 50 Sistema Lagunar Alvarado.	53
19	Regiones Hidrológicas Prioritarias, México.	55
20	RHP 79 Humedales del Papaloapan	56
21	Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA), México.	57
22	RHP 79 Humedales de Alvarado Clave de la AICA C-50.	58
23	Sitio RAMSAR, Sistema Lagunar de Alvarado, Ver.	59



---

## RESUMEN

La zona costera es un espacio de interacción, lo que determina sus condiciones y dinámica ambiental, siendo una zona de gran fragilidad, con un alto valor natural y económico, que proporciona una gran variedad de servicios ambientales. En México la población que habita la zona costera realiza actividades agropecuarias, pesqueras, turísticas e industriales, afectando a los ecosistemas de manera diversa. Esta zona, desde la perspectiva de su estudio ecológico, representa un reto ya que es aquí donde se presenta una variedad de habitats y ecotonos. El sistema lagunar de Alvarado se localiza en la porción sureste del estado de Veracruz. Dentro del sistema desembocan los ríos Papaloapan, Acula, Blanco y Camarón, los cuales aportan un volumen considerable de agua y materia orgánica, esta descarga influye de manera importante a la zona costera adyacente. Presenta características que van de oligohalinas a mesohalinas. En el se registran 109 especies de peces y 343 especies de aves, de las cuales 126 especies se encuentran con alguna categoría de protección en la NOM-059-SEMARNAT-2001. El uso de suelo es variado y prácticamente toda la vegetación original está transformada debido a una intensa actividad ganadera y agrícola, además de la explotación de mantos de gas natural, pesca sin regulación y desarrollo urbano, que provoca la desaparición de hábitats y alteración de las condiciones hidrológicas. El manejo costero se interpreta como la conducción y control de las actividades que ocurren en la zona costera por parte de instancias gubernamentales para proteger, mejorar y manejar de forma adecuada la diversidad natural y cultural, promoviendo una economía costera dinámica y sustentable, utilizando racionalmente los recursos naturales e integrando los diversos instrumentos de gestión ambiental aplicables en la zona.

## ABSTRACT

The coastal zone is an area of interaction, which determines the conditions and environmental dynamics, still a very fragile area with a high natural value and economic, which provides a variety of environmental services. In Mexico, the population that inhabits the coastal zone has been operating agricultural, fishing, tourism and industry, affecting ecosystems in different ways. This area, from the perspective of ecological study is a challenge as it is here that presents a variety of habitats and ecotones. The Alvarado lagunar system is located in the coastal plain of the Gulf of Mexico, 63 Km southeast of the port of Veracruz. The Papaloapan River, Blanco River, Acula River and Camaron River discharges into Alvarado Lagoon and the adjacent coastal zone. Shows from oligohaline to mesohaline conditions. On the recorded 109 species of fish and 343 species of birds, of which 126 species are to some category of protection in NOM-059-SEMARNAT-2001. Land use is varied and virtually all the original vegetation is transformed due to intensive livestock and agricultural, addition to the exploitation of natural gas mantles, unregulated fishing and urban development causing the disappearance of habitats and disturbance of hydrological conditions. Coastal management is interpreted as the driving and control of activities occurring in the coastal zone by government agencies to protect, enhance and properly manage natural and cultural diversity promoting dynamic and sustainable coastal economy, rational utilization of natural resources and integrating the various environmental management tools applicable in the area.





---

## I. Zona Costera definición y límites

La zona costera es un espacio de interacción entre: la plataforma continental, tierra, aguas epicontinentales y atmósfera; la transición que ocurre entre estas fases determina las condiciones y dinámica ambiental, la costa es una zona de gran fragilidad, con un alto valor natural y económico, que presta numerosos servicios ambientales al ser humano. (Moreno 2004)

A nivel mundial los litorales constituyen un elemento importante para el desarrollo; los puertos y playas son ejes que articulan la inversión y el progreso. En las potencias económicas del mundo el desarrollo costero ha tenido un papel importante como medida de impulso a la actividad económica. En los Estados Unidos el 53% de la población vive en municipios costeros, el 84% del PIB se genera en los 17 estados litorales y la densidad media de población de las zonas costeras es 5 veces superior que en el resto del país; en Canadá las industrias vinculadas a la explotación del litoral aportan a la economía nacional más de 8 mil millones de dólares y generan más de 1 millón de empleos; en Italia más de 17 millones de personas viven en las zonas costeras y en España 50.5 millones de visitantes frecuentan sus costas, aportando 14 mil millones de dólares a la economía del país (Rivera-Arriaga y Villalobos 2001).

En México la población que habita la zona costera tiene como interés las actividades fincadas al ganado y agricultura, los diferentes ecosistemas son transformados para permitir el crecimiento del ganado sin importar que los rendimientos al final sean bajas; la dinámica económica y poblacional se encuentra localizada en regiones altas y centrales; cuenta con 167 municipios costeros que concentran el 15% de la población; aportando el 36% del Producto Interno Bruto (PIB). No obstante menos del 3% de la Población Económicamente Activa (PEA) se dedica a actividades relacionadas con la explotación litoral (INEGI 2000).

El desarrollo de la zona costera y sus ecosistemas ha ido relacionado con la aparición de procesos tecnológicos que vierten desechos constantemente, esta condición ha provocado la aparición de diversas formas de contaminación, como resultado del aumento



---

demográfico, el desarrollo industrial y otros, que traen como consecuencia la degradación de la calidad de agua, así como de los hábitats de las cuencas continentales y costeras.

México cuenta con 11,592.77 km de costas, ubicándolo dentro de los primeros 15 países a nivel mundial con una zona costera extensa. Esta zona de transición entre el medio terrestre y el medio marino alberga una gran cantidad de recursos naturales, actividades productivas y asentamientos humanos; así mismo, nuestro país presenta una zona costera variada en formas, fisonomía y condiciones, lo que resulta en una diversidad de ecosistemas, usos y problemas.

Haciendo un ejercicio de observación, ya sea por cartografía especializada o bien por algún instrumento de percepción remota se pueden distinguir diferencias significativas en configuración de la línea de costa y su morfología, así como, diferencias en clima y comunidades biológicas.

Por otro lado, la evolución geológica e hidrodinámica de las zonas costeras en México ha propiciado la formación de patrones fisiográficos resultando en diferentes tipos de deltas, bahías, lagunas, estuarios, esteros y marismas; cada uno con características particulares, la gran diversidad y amplitud de sus características, son producto de las diversas morfoestructuras que confluyen frente a su gran extensión litoral, como una característica notable de su fisiografía. (Lugo et al. 1990)

En este sentido, se pueden definir tres rasgos topográficos a gran escala, comunes a todos los océanos: los márgenes continentales, los fondos de las cuencas oceánicas y los sistemas de dorsales. Boillot (1984) (Fig.1).



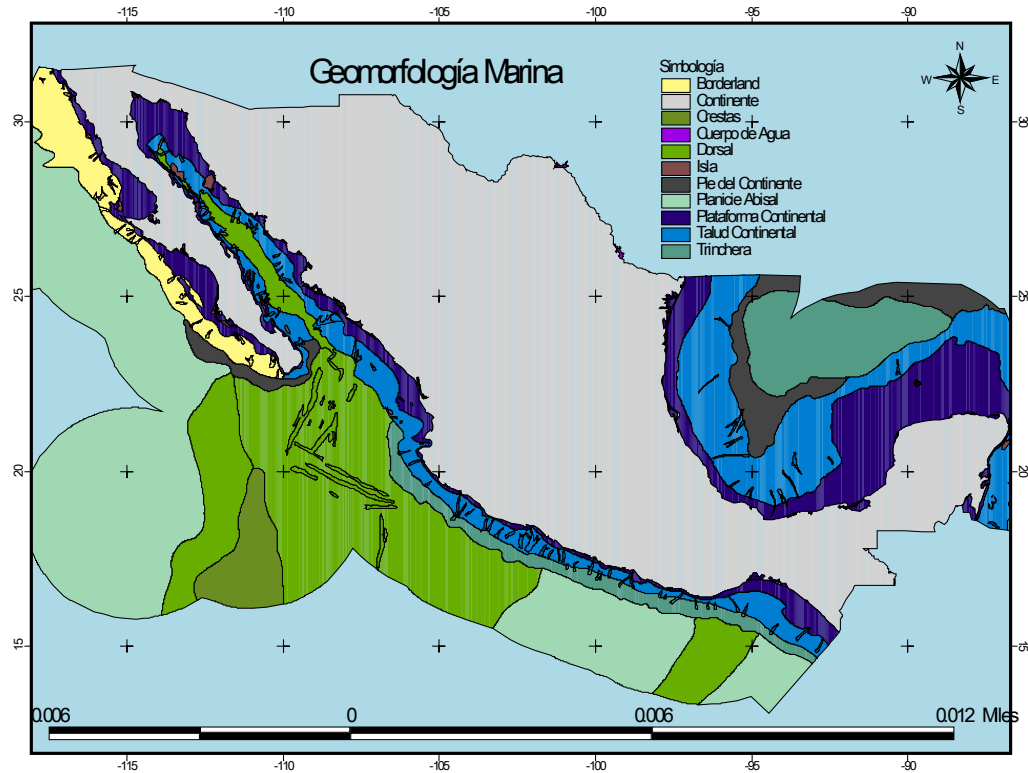


Fig. 1 Geomorfología marina de los mares mexicanos (Lugo-Hubp et al. 1990)

La transición entre el mar y la tierra tiene lugar en aguas poco profundas de la orilla que cubren la plataforma continental y los estuarios. En esa franja incide una serie de fenómenos como la erosión, sedimentación y transporte de sedimentos; descargas de aguas continentales; la influencia de las mareas a través de la pleamar y bajamar e incluso los eventos meteorológicos, como vientos y tormentas que tienen efectos directos e indirectos, así como el crecimiento y diversificación de la vegetación, estos elementos en conjunto modelan la costa, en adición con las actividades antropogénicas. (Inman 1976)

Se debe de diferenciar entre la línea de costa, que es la línea donde el agua y la tierra se encuentran, y la playa u orilla donde el agua cubre la arena o la grava. Esta zona de transición varía en su amplitud y puede contener diversos arreglos de distribución fisiográfica; es decir, una distinta organización espacial de los elementos geomórficos e hidrográficos dispuestos sobre diversos paisajes como son las planicies costeras, llanuras de inundación, deltaicas, aluviales, estructurales que contienen a su vez a los cuerpos y



vías de agua, en forma de corrientes y arroyos, lagunas, estuarios, bahías, marismas de manglar, entre los más importantes. (Shepard, 1973).

Desde el punto de vista de integración, la zona costera abarca desde el límite marino de la plataforma continental y mar territorial, hacia el mar, hasta los límites geopolíticos de los municipios que tienen frente costa o están contiguos y tierra adentro. Construye una amplia y heterogénea región que mantiene intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas donde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre ecosistemas terrestres, marinos y la atmósfera (SEMARNAT-INE, 2000).

La zona litoral desde la perspectiva de su estudio ecológico representa un reto, ya que en esta amplia franja se ubica un verdadero mosaico de hábitats, ecosistemas, biotopos y ecotonos. La incesante interacción del mar con las tierras húmedas y las características propias de éstas últimas (Fig. 2), conforman un complejo objeto de estudio donde el análisis de cada uno de sus componentes y a la vez, una visión integral es imprescindible para la correcta comprensión de los diversos fenómenos que ahí ocurren.

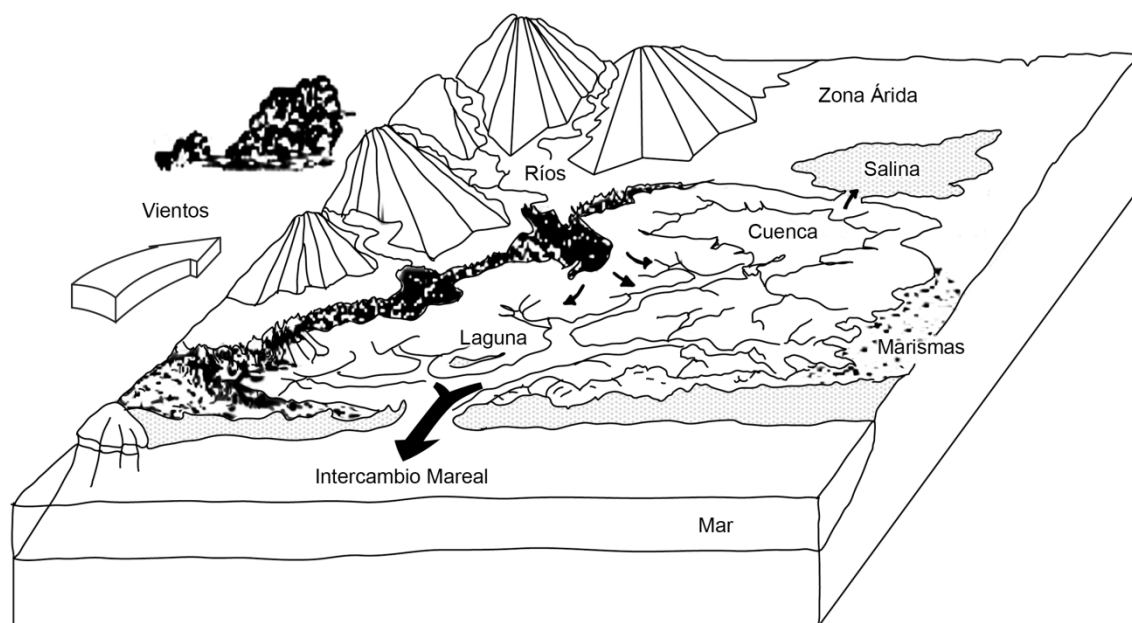


Fig. 2 Esquema general de la zona costera



---

La caracterización de la zona costera comprende por lo menos cinco aspectos de suma importancia (Fig. 3):

- a) Aguas costeras. Son aquellas afectadas directamente por el efecto de las mareas; como las lagunas costeras, estuarios, pantanos, marismas, sondas y bahías.
- b) Líneas de costa, tierras costeras y áreas transicionales e intermareales; estas áreas terrestres forman parte de la zona costera por la relación que guardan con los cuerpos de agua. Como son marismas salobres, pantanos y playas.
- c) Extensión de la zona hacia el océano, delimitada por la jurisdicción nacional e internacional.
- d) Ecológicamente, debe considerarse la zona marina influida por el efecto de la descarga de las aguas continentales y la interacción con las aguas marinas, la línea de costa y los procesos físicos que determinan su comportamiento (por ejemplo, las corrientes).
- e) Tierras continentales que tiene relación directa en la dinámica natural de las aguas costeras, el conocimiento y control sobre el uso de esta tierra y las aguas aledañas permite controlar y aún prevenir cualquier efecto directo, adverso y significativo sobre las aguas costeras



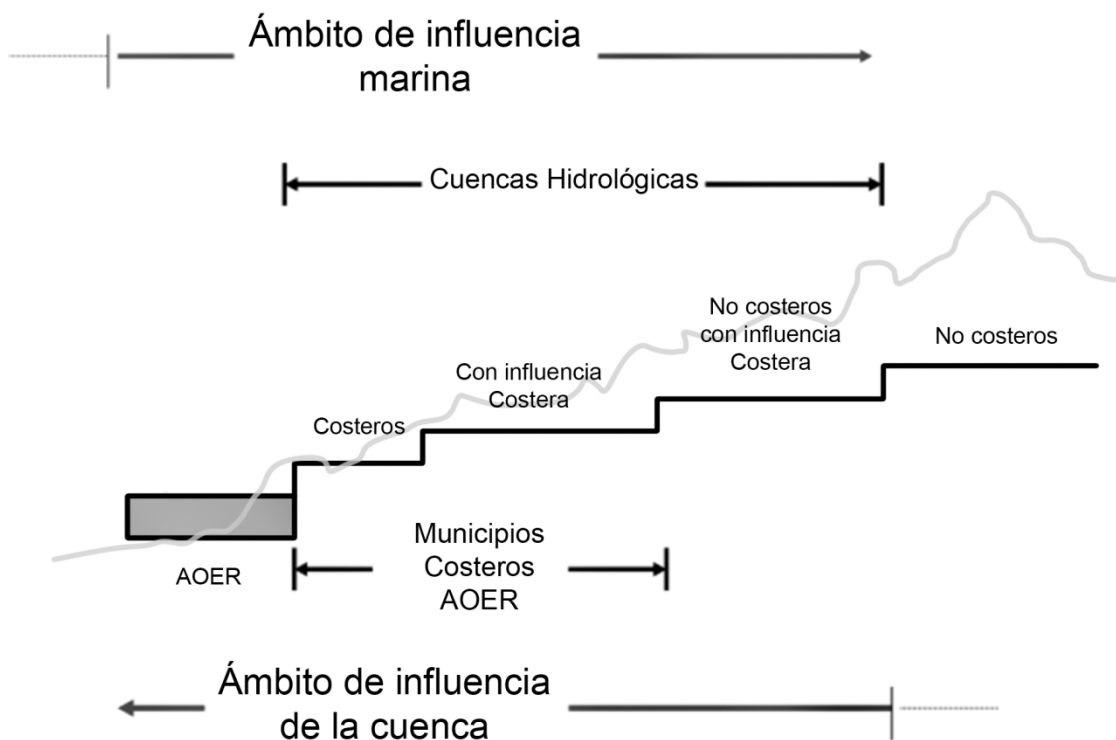


Fig. 3. Ámbitos de influencia de la zona costera Tomado de Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México. (SEMARNAT, 2006)

AOEM: Área con Ordenamiento Ecológico Marino

AOER: Área con Ordenamiento Ecológico Regional

En conclusión, la zona costera de México al presentar una gran variedad de condiciones y problemáticas (Fig. 4), las soluciones que se propongan para su manejo no deberán ser exclusivas para la línea de costa, sino deberán de tomar en cuenta el criterio de cuenca incluyendo su zona de influencia de transición y marina, y en donde se presentan ecosistemas de un alto valor ecológico y productivo, de entre los que destacan sus áreas inundables, pantanos y lagunas costeras.



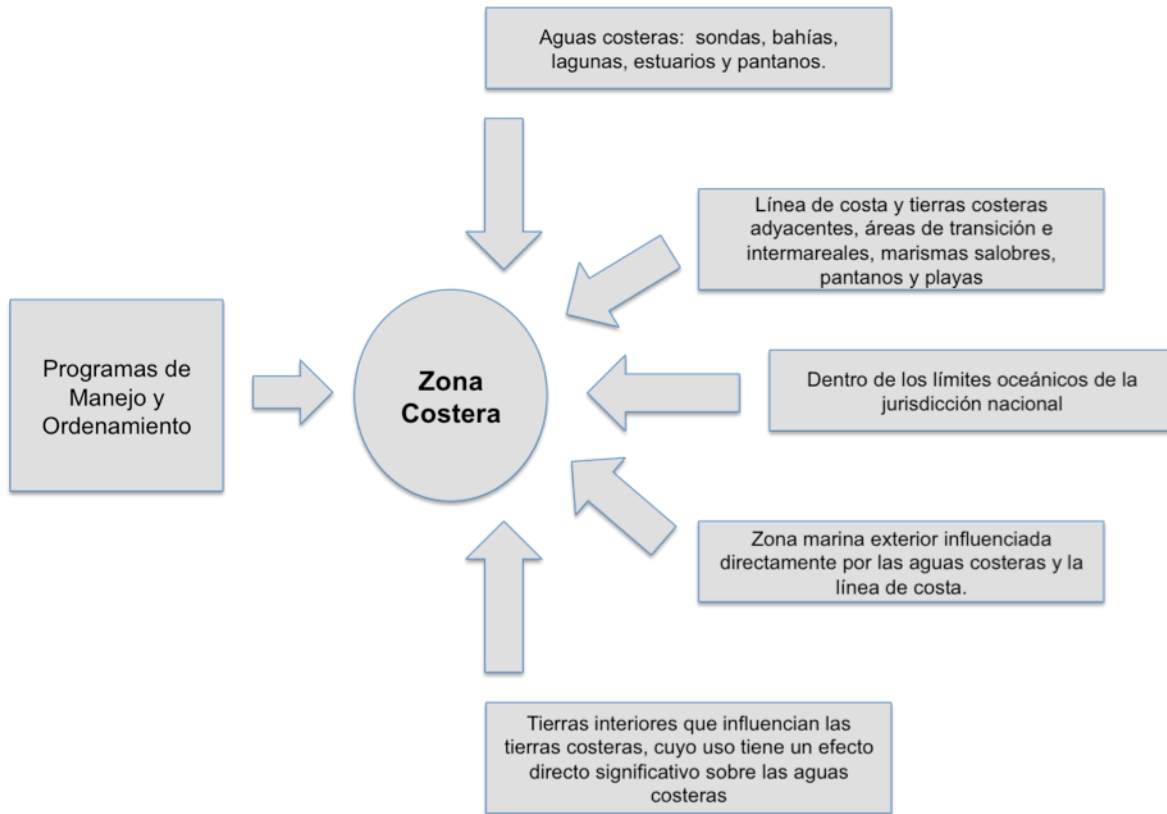


Fig. 4. La zona costera, límites e interacciones.



---

## II. La zona Costera de México: Golfo de México

Los hábitats costeros de México presentan una extraordinaria riqueza de hábitats y de diversidad biológica. Arrecifes, lagunas costeras, pantanos y manglares configuran complicados sistemas costeros, que no solo representan a los ambientes de mayor productividad biológica, sino que vierten además importantes volúmenes de nutrientes a los océanos, dando lugar a diversas cadenas tróficas marinas. La zona costera de México constituye una extensa área con grandes posibilidades de aprovechamiento sustentable derivada de la riqueza biótica de sus aguas y de sus variados ecosistemas lagunares y costeros, tan complejos como frágiles. La República Mexicana cuenta con 11,592.77 Km. de litoral, de los cuales, 1'567,300 ha están cubiertas por superficies estuarinas, distribuidos de la siguiente forma: Pacífico 892,800 ha y 674,500 ha al Golfo de México (INEGI, 1984); a su vez, el 30% de la línea de costa pertenece al Golfo de México y el Mar Caribe: 3118.71 Km. Esta es una región con un gran valor en términos sociales, económicos y biológicos, debido a su gran diversidad de ecosistemas, hábitats, recursos naturales y desarrollo de importantes actividades económicas (Zarate Lomelí, et al. 1999), ejemplo de ello es el crecimiento de ciudades importantes: Tampico, Tuxpan, Veracruz, Poza Rica, Coatzacoalcos, Ciudad del Carmen y Puerto Progreso, las cuales se han desarrollado alrededor de las pesquerías, extracción de petróleo, refinerías y actividades portuarias y turísticas (Fig 5).

Cabe destacar que la zona costera del Golfo de México está bordeada por 27 grandes humedales, que sirven de áreas de refugio, alimentación y reproducción de numerosas especies que representan a las pesquerías ribereñas más importantes. Así mismo, cuenta con las siguientes cuencas hidrológicas: Bravo-Conchos, San Fernando-Soto La Marina, Pánuco, Tuxpan-Nautla, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva-Usumacinta, Yucatán Oeste, Yucatán Norte, y Yucatán Este.





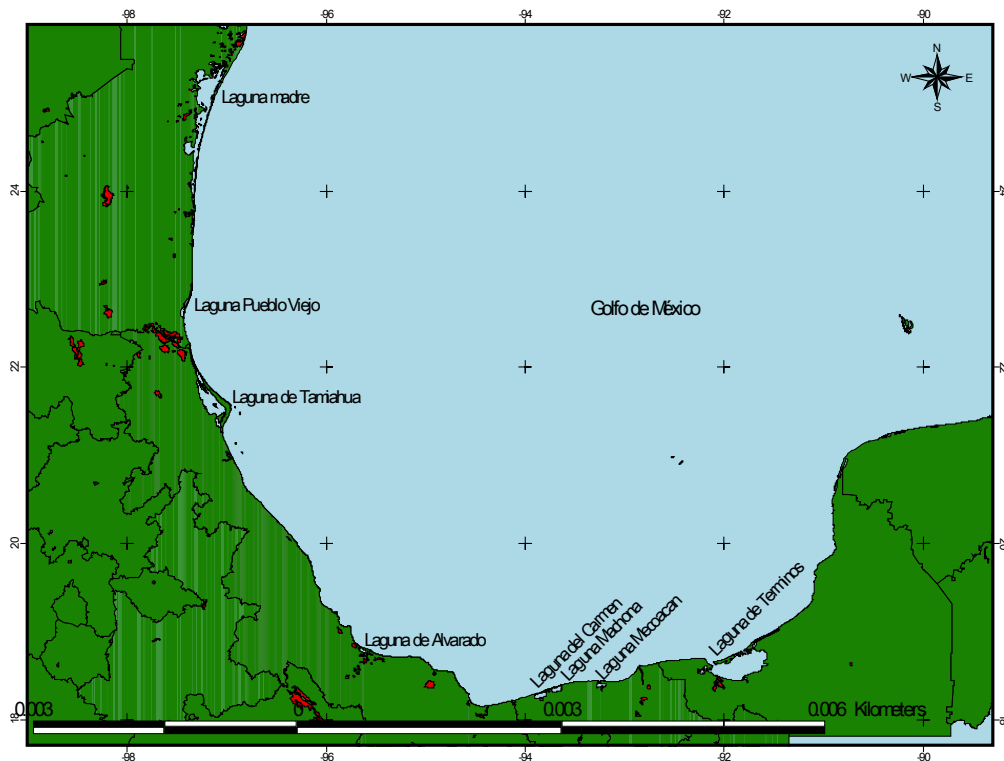


Fig. 5. Zona costera del Golfo de México y principales sistemas costeros.

La plataforma continental del sureste del Golfo de México se caracteriza por tener una marcada influencia continental y extensos humedales en su región occidental. De acuerdo a la división propuesta para el Golfo de México por Pequegnat y Pequegnat (1970), el área de estudio se ubica en el cuadrante suroeste (Fig. 6). En este cuadrante, también se reconocen ocho subdivisiones ó áreas estadísticas propuestas por el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de los Estados Unidos (Gulf Mexico Fishery Management Council 1981). En el suroeste del Golfo de México se reconocen las siguientes provincias geológicas: Plataforma Mexicana Oriental, Bahía de Campeche y Banco de Campeche (Antoine 1972).



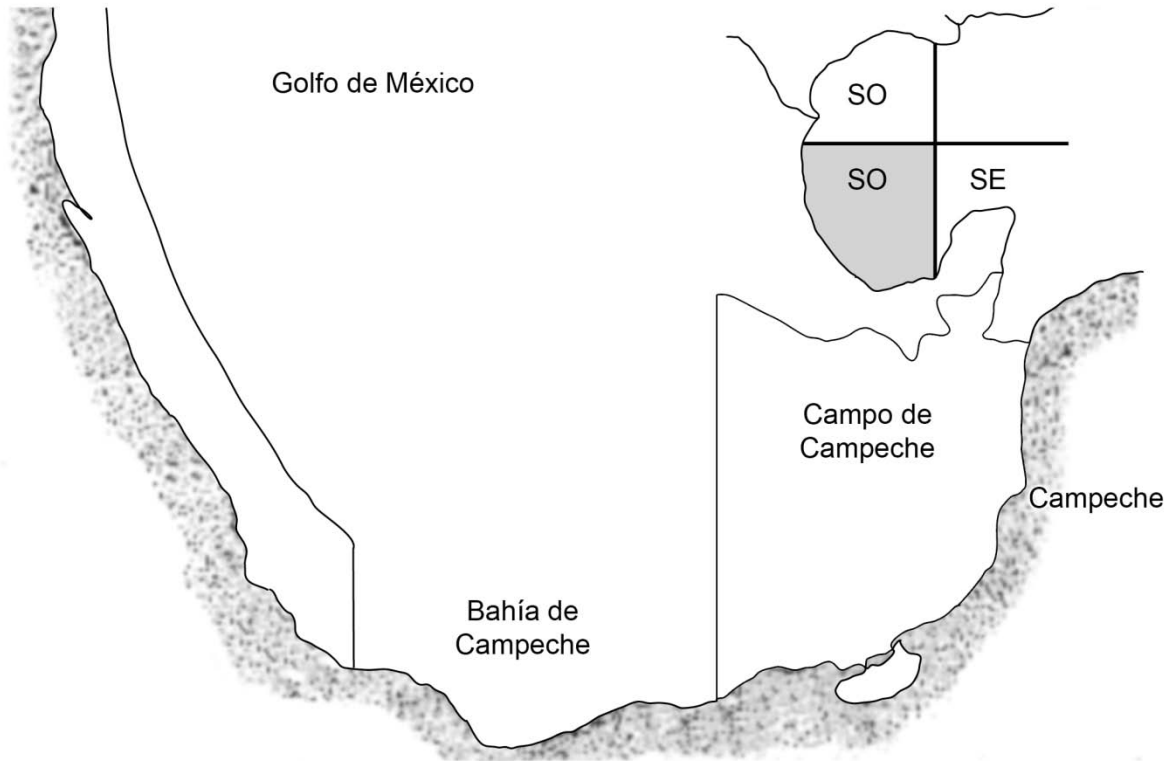


Fig. 6. División propuesta para el Golfo de México por Pequegnat y Pequegnat (1970),

Los humedales, que incluyen lagunas costeras, estuarios y marismas, constituyen la mayor parte de las áreas costeras en México entre la línea de costa y su parte terrestre y la parte exterior de la zona intermareal. Algunos de los humedales en esta zona se encuentran aún en condiciones prístinas. Muchos de estos sistemas han sido afectados por las actividades humanas hasta su degradación. Varios tipos de humedales se presentan en la zona costera de México, esta distribución en paralelo a la línea de costa se da por las características hidrogeomorfológicas entre la parte terrestre y el mar abierto. La naturaleza de las comunidades bióticas en los sistemas estuarinos esta en función no solo de los procesos físico hidrogeomorfológicos, sino también de la interacción del agua de origen marino y de origen limnético, siendo la salinidad uno de los factores más importantes (Contreras y Warner 2004).

El estado de Veracruz parte central de la vertiente del Golfo de México, cuenta con una superficie aproximada de casi 73 mil (3.7 % del territorio nacional); ocupa el décimo lugar en extensión de las 32 entidades federativas, y colinda al norte con Tamaulipas al este con el Golfo de México y Tabasco, al sur con Oaxaca y Chiapas, al oeste con Puebla,



---

Hidalgo y San Luis Potosí. Está compuesto por 212 municipios; después de Oaxaca y Chiapas, es la entidad con mayor número de municipios; destacan por sus asentamientos urbanos Boca del Río, Córdoba, Coatzacoalcos, Orizaba, Tuxpan, Martínez de la Torre, Minatitlán, Papantla, Poza Rica, San Andrés Tuxtla, Veracruz y Xalapa (Chávez y Franco 1992). En este estado se concentra el 7.0% de la población mexicana, 7.2 por ciento del empleo total y 4.1% del producto interno bruto del país; es el primer generador nacional de energía y uno de los principales productores de hidrocarburos, y su producción agropecuaria es estratégica para el abasto nacional.

La ubicación geográfica del Estado de Veracruz le ha permitido posicionarse como uno de los puntos de mayor movimiento de entrada y salida internacional de mercancías, con origen y destino, Norteamérica, Europa y el Mar Caribe. Cuenta con tres de los puertos comerciales más importantes del país (Veracruz, Coatzacoalcos y Tuxpan) y el acceso portuario a los principales mercados de Estados Unidos, Canadá, Europa, Centro, Sudamérica y el Caribe es un elemento de gran valor. Estas características denotan sólo una parte de la importancia histórica y actual que representa el Estado de Veracruz, así como del gran potencial que puede utilizar para lograr un desarrollo costero integral en los próximos años (Fig. 7).



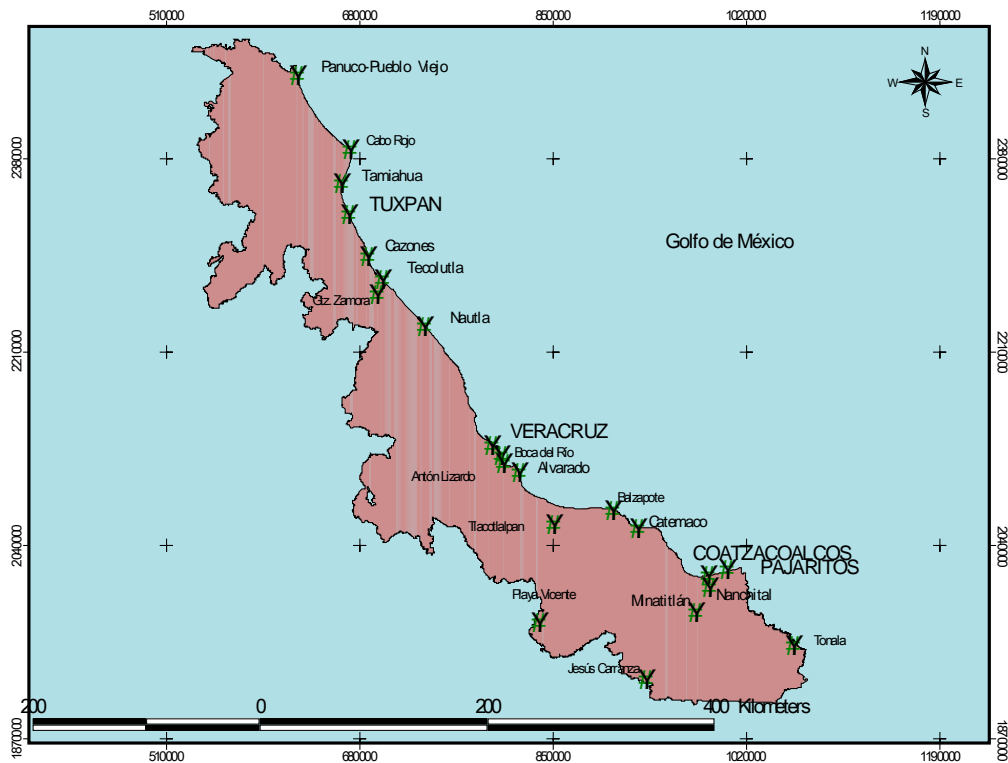


Fig. 7 Sitios con actividad marítima portuaria del Estado de Veracruz (Fuente: Coordinación de Proyectos Estratégicos del Gobierno del Estado de Veracruz).

Las coordenadas geográficas extremas del estado de Veracruz son: Latitud Norte entre los  $22^{\circ} 28'$  y  $17^{\circ} 09'$ ; Longitud Este entre los  $93^{\circ} 36'$  y  $98^{\circ} 39'$ . Su línea de costa es de 745 km (Fig. 8) y la topografía de la entidad se puede definir de grandes contrastes; la zona costera es llana y baja, de suelo aluvional con depósitos lacustres litorales, tales como las lagunas de Tamiahua y Alvarado; se eleva hacia el interior alcanzando rápidamente gran altura, hasta llegar a los elevados cordones volcánicos que culminan en el Pico de Orizaba (Citlaltépetl), que se levanta a unos 5,610 metros sobre el nivel medio del mar (Morán et al. 1996).



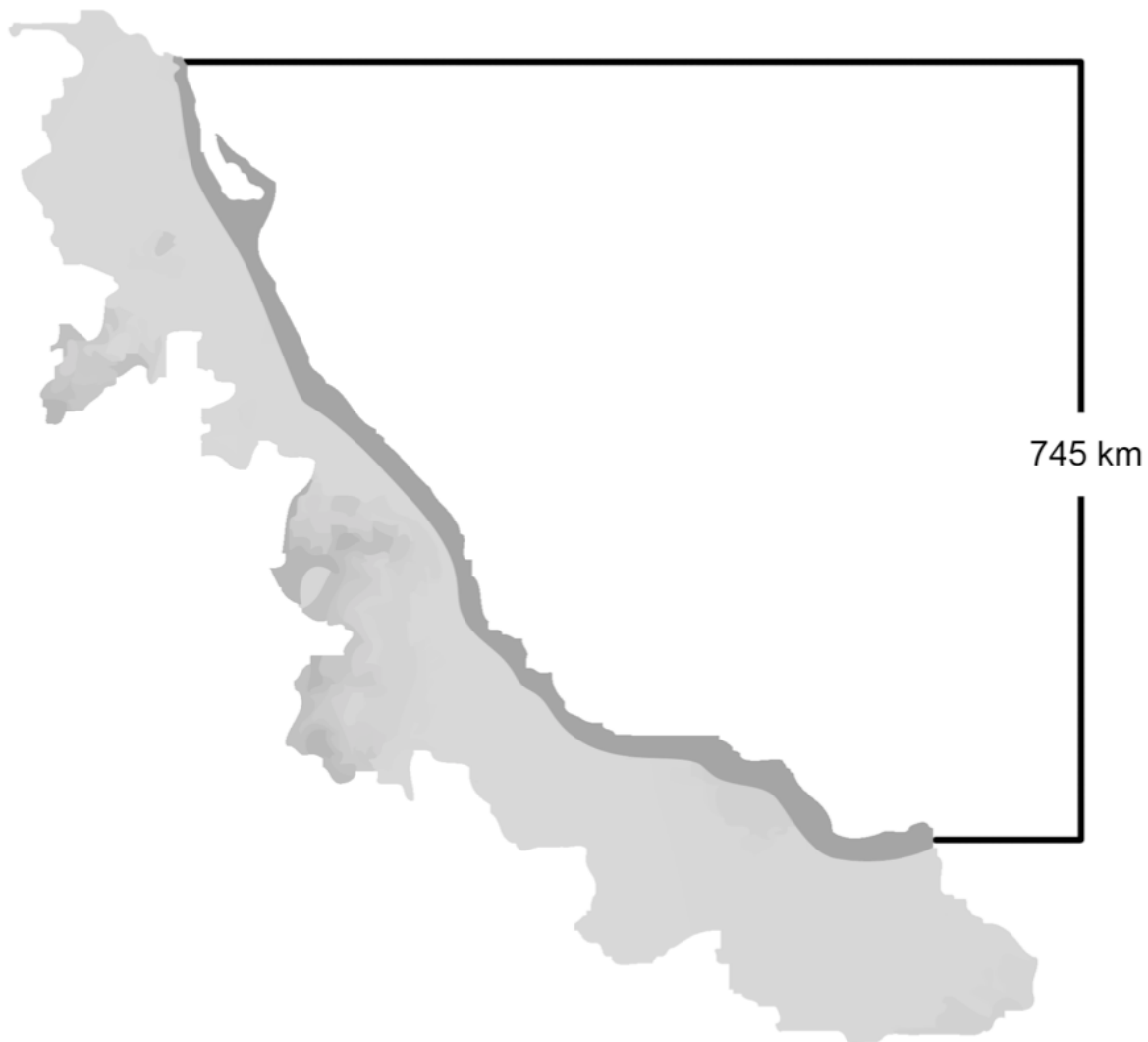


Fig. 8. Extensión de la zona costera del estado de Veracruz.

Además de los 745 Km. de costa, a esta entidad lo bañan el 35 % de los ríos mexicanos, destacando el Pánuco, Papaloapan, Actopan, Coatzacoalcos, Tecolutla y Nautla, entre otros, lo que da una muestra de su riqueza hidrológica. El litoral de Veracruz representa el 29.3% de la costa mexicana del Golfo de México, casi la tercera parte, y el 4.7% del total de la cuenca del Golfo de México; en un recorrido de la costa veracruzana se observaría la gran diversidad de ecosistemas y de características geomorfológicos, así como de condiciones económicas y sociales.



---

### III. SISTEMAS LAGUNARES-ESTUARINOS

México tiene un estimado de 1'567,300 ha de humedales en sus costas. Estas comprenden cerca de 118 complejos mayores y otros 538 sistemas pequeños representados en una amplia variedad de tipos.

Los humedales son cuerpos de agua someros que se distribuyen a lo largo de la zona costera y son conocidos como lagunas costeras. De acuerdo con la definición de Lankford (1977) (Fig. 9): *“es una depresión de la zona costera que se encuentra por debajo del nivel medio del mar, que presenta una boca de comunicación efímera o permanente con el mar y que se separa de éstos por algún tipo de barrera”*. Esta es una definición ampliamente usada para todo tipo de humedales de la zona costera. El término laguna es usado debido a que reconoce estos ecosistemas como unidades de paisaje que son distintos y están separados de otras unidades de paisaje adyacentes, como es la zona terrestre, el océano o los ríos, por sus características físicas e hidrogeomorfológicas. El trabajo de Lankford (1977) es el único en atender la categorización de un amplio intervalo de tipo de humedales en México. De manera general, se reconocen tres regiones de humedales: la primera región es la zona costera del Pacífico, la cual se ve influenciada por la actividad tectónica, con un alto relieve y con acantilados; la segunda región incluye al Golfo de México, con una planicie costera amplia que desciende suavemente de la Sierra Madre Oriental; y la última región incluye los humedales que se encuentran sobre la roca caliza de la Península de Yucatán donde la superficie es extremadamente plana y donde no existe escurrimientos superficiales.



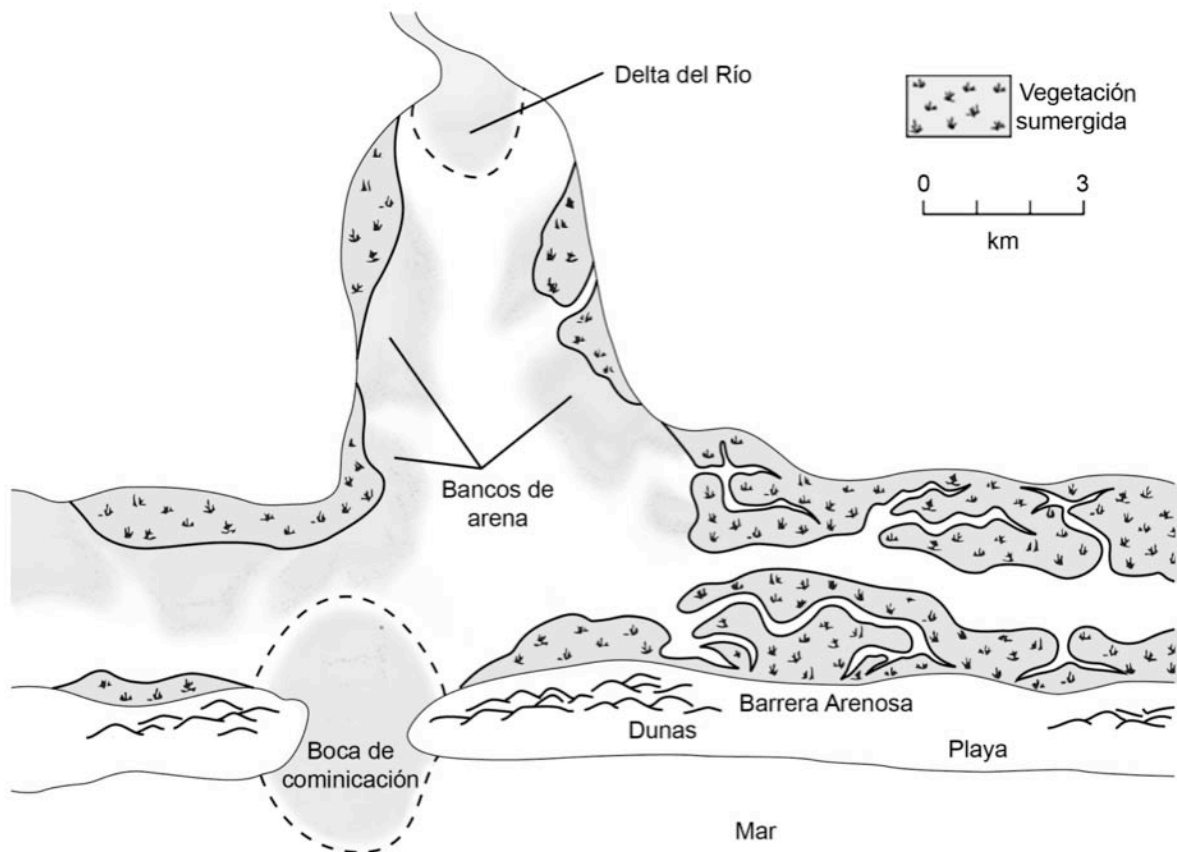


Fig. 9. Esquema general de una laguna costera

Otra opción para la clasificación de estos sistemas es la salinidad del agua y la asociación de patrones bióticos, en comparación con la clasificación basada solamente en las características geomorfológicas. En este sentido, el intercambio de agua dulce y agua marina que se da en éstos humedales está relacionado fuertemente con la concentración de nutrientes, y en consecuencia, con la productividad primaria. La influencia mareal es otro de los factores importantes para el intercambio y circulación del agua y el intercambio de materiales en otros humedales.

En las lagunas costeras existen diferentes componentes bióticos que generan la productividad primaria que constituye la columna vertebral de los sistemas acuáticos, entre ellos se encuentra el fitoplancton, el microfitobentos, las vasculares acuáticas y eventualmente las macroalgas. Finalmente, cabe destacar los frecuentes y significativos suministros de materia orgánica proveniente de la vegetación circundante por la vía de los detritus y la regeneración de nutrientes los cuales también incrementan la productividad del sistema.



Las principales problemáticas que exhiben los sistemas lagunares se relacionan con el cambio de uso de suelo relacionado con la industria turística y desarrollo urbano. Otro de los problemas es la sobreexplotación de algunos recursos pesqueros en la zona costera del Golfo de México. Cerca del 30% de las capturas de las principales pesquerías se obtiene en los humedales costeros, esto representa cerca del 80% de la actividad económica total para las poblaciones locales. Por otro lado, la actividad industrial en el sureste del Golfo de México, así como la expansión de los asentamientos humanos han destruido las bocas de comunicación y las barras de protección de los humedales contra la dinámica oceánica. El cambio de uso de suelo para ganadería y agricultura es otro de los problemas a atacar, debido a la destrucción de amplias zonas de mangles (Contreras y Warner 2004).

Dentro de los sistemas lagunares se puede identificar una serie de bienes y servicios ambientales, entre los que resaltan los siguientes:

- Hábitat para especies de flora y fauna
- Regulación de clima
- Protección de cuencas
- Captación, transporte y saneamiento de aguas, tanto superficiales como subterráneas
- Protección de costas
- Protección contra la erosión y control de la sedimentación
- Generación de biomasa y de nutrientes para actividades productivas
- Control biológico de plagas y enfermedades
- Mantenimiento de la diversidad de especies y diversidad genética
- Provisión directa de recursos y materias primas
- Oportunidades para la recreación y el turismo
- Valor escénico y paisajístico
- Campo para la investigación científica y tecnológica
- Continuidad de los procesos evolutivos





## IV. El Sistema Lagunar de Alvarado

### a. Características Principales

El sistema lagunar de Alvarado se localiza en la porción sureste del estado de Veracruz, entre los  $18^{\circ}52'15''$  y  $18^{\circ}23'00''$  latitud norte y  $95^{\circ}57'32''$  y  $95^{\circ}42'20''$  longitud oeste. Su longitud aproximada es de 26 Km desde el oeste de la isla Vives hasta el noroeste de la laguna Camaronera, presentando una anchura que no excede los 5 Km. Dentro del sistema desemboca al sureste los ríos Papaloapan, Acula y Martín Prieto, al suroeste el Blanco y el Camarón, los cuales aportan un volumen considerable de materia orgánica y Terrígena (Contreras 1985). El eje principal de la laguna es paralelo a la línea de costa y presenta una boca de comunicación permanente con el mar de 400 m de abertura que se encuentra frente de la desembocadura del río Papaloapan; además de un canal de comunicación artificial en la laguna Camaronera (Fig. 10).

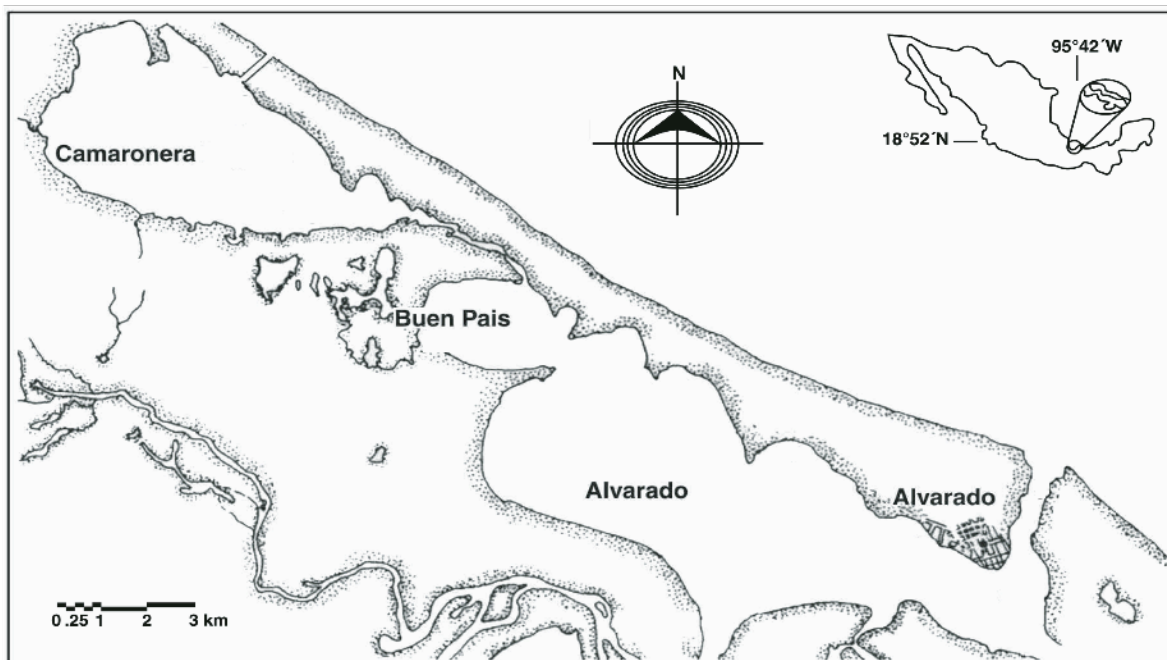


Fig. 10. Sistema Lagunar del Alvarado, Veracruz.

El complejo lagunar es somero, con una profundidad promedio de 2 m, alcanzando la mayor profundidad en la boca de comunicación con 15 m. Se observa que la dirección de las corrientes para la temporada de lluvias es ligeramente al Oeste y al Oeste-Noroeste



---

para la época de nortes, éstas se ven influenciadas por la dirección del viento y el comportamiento de las mareas.

El sistema se encuentra limitado al Norte por el Golfo de México y el Municipio de Boca del Río, al Sur por los municipios de Acula, Tlacotalpan e Ignacio de la Llave, al Este por el Golfo de México, al oeste por los municipios de Tlalixcoyan y Medellín y al Noroeste por el municipio de Lerdo de Tejada.

### **b. Clima**

De acuerdo con García (1973), el clima es del tipo (i), que corresponde a un clima caliente subhúmedo, con las mayores precipitaciones en los meses de junio a septiembre que varían entre 1100 y 2000 mm, la temperatura media anual es de 26. con los valores mínimos y máximos de 22.6 y 29. respectivamente. Los vientos presentan una dirección dominante de Este a Sureste durante la mayor parte del año, con intensidades máximas de 8 nudos; durante las temporadas de Nortes la velocidad del viento se incrementa de los 52 a 72 nudos y la dirección de los vientos cambia de Noreste a Sureste. El patrón climático de esta zona permite definir tres épocas climáticas: Nortes de octubre a febrero, Secas de marzo a mayo y Lluvias de junio a septiembre.

### **c. Hidrología de la Cuenca del Papaloapan**

El sistema lagunar de Alvarado pertenece a la Región Hidrológica de la Cuenca del Papaloapan, este sistema nace en el Estado de Puebla, atraviesa 129 Km del Estado de Veracruz, su longitud total es de 525 Km y su caudal ocupa el séptimo lugar mundial, junto con el Río Coatzacoalcos, el Papaloapan representa el 30% del escurrimiento fluvial del país.

La Cuenca del Papaloapan ocupa una superficie de 46,517 de los cuales 17,301 se encuentran en el Estado de Veracruz. De la superficie total el 51% corresponde al Estado de Oaxaca 7% al Estado de Veracruz y el 12% restante al Estado de Puebla. Sus afluentes principales son los ríos Usila, Santo Domingo, Tonto, Valle Nacional, Tesehocán, Obispo, San Juan, Laguna de Catemaco, Río Blanco y Río Salado. Todos estos ríos descargan finalmente en la laguna de Alvarado, cuya ubicación hidrológica se



encuentra en la vertiente del Golfo de México, la cual colinda al Norte con las cuencas cerradas del Oriental y las del Río Atoyac en Veracruz, al Sur con los ríos Atoyac de Oaxaca y Tehuantepec, al Este con el Río Coatzacoalcos y al Oeste con el Río Balsas.

Topográficamente los terrenos de la Cuenca del Papaloapan pueden clasificarse de la siguiente manera:

Lagunas, ríos y pantanos	2,300
Planicies con pendientes menores del 10%	18,300
Montañosos con pendientes mayores al 10%	15,300

El sistema fluvial es el segundo de mayor importancia en el país después del sistema Grijalva-Usumacinta, su escurrimiento anual medio es de 47 millones de , en un intervalo que va de 25 a 67 millones de .

#### **d. Clasificación Morfológica**

Carranza-Edwards et al. (1975) ubican al sistema lagunar en la unidad morfotectónica II, la cual se extiende de Punta Delgada hasta las inmediaciones de Coatzacoalcos en el Estado de Veracruz, incluyendo parte del extremo Noroeste de la Cordillera Neovolcánica y sus porciones Central y Sur a la planicie costera de Sotavento. La llanura costera es angosta y señala la actividad volcánica desde el Plioceno en el área de los Tuxtlas. La plataforma continental es angosta e influida parcialmente por crecimientos arrecifales en las vecindades del Puerto de Veracruz. Desde el punto de vista tectónico, esta unidad se clasifica como una costa de mares marginales, donde se reconocen tres tipos de costas:

- Primarias: volcánicas, de flujo de lava y trefa (en los Tuxtlas).
- Secundarias: construidas por organismos, arrecifes coralinos, costas de arrecifes bordeantes (arrecifes del Puerto de Veracruz).
- Primarias de depositación subaérea por viento: costas de dunas (Norte de Veracruz).

La zona costera de Alvarado esta influenciada por el sistema lagunar de Alvarado propiamente, donde desembocan el Río Papaloapan al Sureste, el Camarón, el Blanco y



---

el Acula que se comunican directamente al cuerpo de agua central y que a su vez aportan un volumen considerable de materia orgánica y terrígena, tanto al sistema lagunar como a la zona costera adyacente (Contreras 1985), el monto de descarga esta calculado en 19.1 x / año (Zarate-Lomelí et al. 1999) y presenta una marcada variación temporal con los mayores montos durante los meses de junio a octubre.

Cabe destacar que, a causa de la inundación del Río Papaloapan en el año de 1944, se integró la Comisión del Papaloapan y en 1947 fue promulgado el decreto de construcción de la presa Temazcal en el Estado de Oaxaca, sobre el cauce del Río Tonto, uno de los afluentes principales de la cuenca. La obra fue concluida en 1955 y cuenta con una capacidad de almacenamiento de 8,000 millones de . Nuevamente durante 1958 y 1969 volvieron a presentarse inundaciones por el desbordamiento del Río Santo Domingo, que es uno de los principales afluentes del Papaloapan y en 1973 se inició la obra de construcción de la presa Miguel de la Madrid Hurtado. El embalse fue llenado en 1989, afectándose 22,039 ha de suelos agrícolas, potreros y selva alta perennifolia y mediana subperennifolia (Morán et al. 1996).

Por su parte Lankford (1977) basa su clasificación en criterios geomorfológicos aunado a las condiciones oceanográficas y atmosféricas. De este modo, el sistema lagunar de Alvarado se encuentra en la Zona E, correspondiente a la costa del Golfo de México, Tipo II con sedimentación terrígena diferencial, que caracteriza a las lagunas costeras asociadas a sistemas fluvio-deltáicos producidos por sedimentación irregular y efectos de descarga, típicamente forman barreras de arena rápidamente. En el caso del sistema de Alvarado las barreras incluyen lodo, arena y manglares. La energía es baja excepto en los canales, la salinidad es baja y esta influenciada por la descarga de los ríos. El sistema lagunar es originado por la erosión diferencial categorizándose en el Tipo I, que corresponde a depresiones no formadas por procesos marinos durante épocas de bajo nivel del mar e inundadas durante la transgresión del Holoceno, la forma y la batimetría son variables, la geomorfología es típica de valle de río inundado, con la formación de sublagunas, la energía es debida a la acción de las mareas y el flujo de los ríos, la salinidad usualmente presenta gradientes hiposalinos.

Fisiográficamente se reconocen tres grandes unidades (Anta y Rosas 1992): a) la Planicie Costera de Sotavento, muy grande, con pendientes reducidas y formada por un conjunto



de cuencas tectónicas con alturas menores a 100 m; b) las estribaciones de la Sierra Madre de Oaxaca o Sierra de Juárez, con un intervalo altitudinal de los 500 a los 3,000 msnm; c) La Sierra Madre Oriental, conformada por sierras alineadas cársticas, con calizas y lutitas plegadas principalmente a una altitud máxima de 1,000 m.

López-Paniagua y Urbán (1992), mencionan que las Planicies Aluviales de Sotavento incluyen las zonas alrededor de los márgenes de los ríos con valles amplios de terrazas bajas y lomeríos de planicies antiguas. Poseen una morfodinámica por erosión hídrica, erosión lateral y acarreamiento, con materiales de aluvión limo-arcillosos. En la Planicie Disectada, la litología es de aluviones, areniscas y conglomerados, aunque predomina la morfología de terrazas bajas tendientes a la convexidad y valles muy anchos en forma de “U”. La erosión hídrica es el proceso dominante y la altitudes van de menos de 100 hasta 300 msnm. En la Planicie Aluvio-litoral la litología es de aluviones, conglomerados y areniscas y pueden encontrarse desde zonas planas hasta levemente onduladas. Los procesos más importantes son la depositación fluvial y arrolladas.

De acuerdo a inspección física de la zona litoral del sistema lagunar, el uso de suelo es muy intenso y prácticamente toda la vegetación original está transformada ya que actualmente solo existen remanentes de selvas altas y medianas, grandes extensiones de selvas secundarias (acahuales) en diverso grado de desarrollo y relictos de bosques de encinares tropicales de *Quercus glaucescens* y *Quercus oleoides*. Los principales cultivos agrocomerciales son caña de azúcar, arroz, piña, cítricos, mango y papaya principalmente. Asimismo, existe una intensa actividad ganadera con pastizales inducidos para el forrajeo.

#### **e. Batimetría y Características Sedimentológicas**

La batimetría de Alvarado puede decirse en términos generales que es una laguna somera. Su mayor profundidad se encuentra a lo largo del lecho del Río Papaloapan, desde el extremos Occidental de la Isla Vives hasta su desembocadura, con una profundidad que varia de entre los 9 y 13.5 m y en el canal que conduce hasta el muelle de desembarque del Puerto Pesquero Piloto de Alvarado, con 5 m de profundidad y en la boca de Tragadero, donde se registra 4.1 m. En la porción central, las máximas profundidades son de 2.2. m, decreciendo rápidamente hacia las orillas, con la excepción



de algunos canales y bancos de arenas, que por efecto de dragados, se han originado muy recientemente. En cuanto a las lagunas de Tlaxicoyan y Camaronera, éstas muestran profundidades que oscilan entre 0.5 y 1 m en promedio.

El sistema lagunar de Alvarado presenta un considerable aporte de sedimentos terrígenos y materia orgánica vía las descargas de los ríos Papaloapan, Blanco, Limón y Acula, además de arroyos y escurrimientos que se presentan en las orillas de la laguna, por lo que se considera que este aporte es de manera constante incrementado durante la temporada de lluvias debido al aumento del caudal de los ríos. La variación de la granulometría de los sedimentos se da de manera estacional a lo largo de las tres temporadas climáticas y sobretodo de la ubicación dentro del sistema lagunar. De este modo, para la laguna de Alvarado se presenta como sedimento dominante a la arena, por arriba del 49% para las tres temporadas climáticas, disminuyendo durante la sequía y aumentando el sustrato limo-arcilloso. Para la laguna de Buen País, se observa que la temporada de Nortes el sedimento dominante es el limo-arcilloso, presentándose un cambio en la composición granulométrica para secas y lluvias, dominando porcentualmente el sedimento arenoso. La laguna de Camaronera presenta un sedimento del tipo arenoso durante las tres temporadas climáticas. Las lagunas de Alvarado y Camaronera se caracterizan por tener un porcentaje de arena alto, ya que están situadas cerca de los afluentes de los ríos, así como la influencia marina en las cercanías de las bocas de comunicación. Por otro lado, el sistema lagunar además de recibir grandes aportes de sedimentos terrígenos al mismo tiempo recibe una gran cantidad de materia orgánica particulada, la cual es depositada sobre el sedimento o bien es exportada hacia la zona costera (Morán et al. 1996).

#### **f. Vegetación**

La vegetación que puebla las orillas de la laguna y sus afluentes, es característicamente del tipo de manglar, aunque en algunas partes esta vegetación toma otro aspecto con la presencia de diversas especies propias de estas zonas tropicales bajas (Fig. 11). Hacia las orillas del Río Papaloapan, orillas de Isla Vives y desembocadura del río Acula, el Camarón y el Blanco puede apreciarse la zonación clásica de los manglares. Así, vemos que la especie predominante en ésta área es el mangle rojo *Rhizophora mangle*, que con largas raíces de anclaje en el sustrato ocupan la línea de costa. Entre la vegetación



---

acuática pionera, aparecen ocasionalmente pequeños grupos de otras fanerógamas, entre las que se encuentra el carrizo *Spartina* sp., el tule *Thypha* sp. y una especie de lirio frecuente en la desembocadura de los ríos, *Crinum erubescens*. Enseguida del mangle rojo se encuentra la zona del mangle negro *Avicennia germinans*, esta zona esta influenciada por las altas mareas.

Cerca de las instalaciones del Puerto piloto Pesquero, hasta llegar a la laguna Camaronera se aprecia una distribución de la vegetación similar a la anterior pero menos exuberante, resalta la presencia del mangle blanco *Laguncularia racemosa* enseguida de *A. Germinans* y en la zona de dunas resalta la presencia de pequeñas agrupaciones de pino australiano *Casuarina equisetifolia*.

El área litoral inmediata a la zona de manglar esta ocupada por cebadales que constituyen manchones de vegetación sumergida a lo largo de la costa del sistema lagunar y las cuales ocupan grandes extensiones que quedan parcialmente descubiertas durante la bajamar. La especie dominante de estas áreas es *Ruppia maritima*, la cual, hacia las aguas más profundas desaparece paulatinamente, dando paso a la aparición de algas, donde predomina la rodofita *Gracilaria verrucosa*. Por último en los fondos lodosos del extremo Occidental de la Isla Vives, laguna de Tlalixcoyan y cerca de la desembocadura de los ríos se observan con cierta frecuencia praderas de otra fanerógama *Vallisneria americana*.

La vegetación de playa comprende la zonación de las comunidades vegetales pioneras de dunas móviles, seguidas por especies arbustivas y espinosas como mala mujer (*Cnidoscolus* sp.) y el nopal (*Opuntia* sp.) como especies secundarias dominantes, además de numerosas leguminosas y pastizales que conforman el estrato más bajo en las dunas más consolidadas. Las dunas de mayor tamaño presentan una selva baja espinosa hacia barlovento y una selva mediana subperennifolia hacia sotavento dominada esta última por leguminosas arbóreas principalmente como *Enterolobium* sp y *Acacia* sp.

En la zona pantanosa, existe una laguna intermitente cuyas fluctuaciones anuales provocan la formación de lagunas estacionales en donde crecen plantas acuáticas de varios tipos, encontrándose restos de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el apomo (*Pachyra acuatica*) como dominantes en el estrato



---

arbóreo, entremezclados y muy reducidos en número. Entre las herbáceas más comunes que se encuentran arraigadas a los fondos de las lagunas están los popales de platanillo (*Thalia* sp y *Pontederia sagittata*), el tular (*Thypha* sp.), el carrizal (*Spartina* sp.) y las ninfas (*Nymphoides indica* y *Nymphaea* sp.). Se encuentran también como vegetación libre flotante la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), el chichicastle (*Lemna* sp.) y el helecho acuático (*Azolla* sp.).

En los sitios más firmes es común observar palmas (*Sabal mexicana* y *Scheelea* sp.) y algunos árboles como el jobo (*Spondias mombin*) y el palo mulato (*Bursera* sp.) y entre los arbustos y hierbas de los géneros *Panicum*, *Muhlenbergia*, *Mimosa*, *Asclepias* y *Guasuma* entre otros, así como extensas zonas de pastizales para el pastoreo de ganado.

Entre otros autores, la vegetación de la parte intermedia de la Cuenca del Papaloapan ha sido estudiada por Gómez-Pompa et al. (1964), Sarukhán (1968), Hernández-Xolocotzi (1977), Martínez y Escárpita (1977), Barreto y Hernández-Xolocotzi (1982). Dichos estudios reportan la presencia de 12 tipos de comunidades vegetales, destacando por su extensión la Selva Alata Perennifolia y la Selva Mediana Subperennifolia. En lo que comprende al Estado de Oaxaca, en el estrato arbóreo las asociaciones más comunes registradas por los autores destacan el sombreretal *Terminalia amazonia*, el ojoche o Ramón *Brosimum alicastrum*, así como *Celtis monoica*, *Sickingia rhodoclada*, *Robinsonella mirandae* y *Astronium graveolens*. En la parte de Veracruz, destacan las asociaciones de zapote o chicle *Manilkara zapota*, la caoba *Swietenia macrophylla*, el cedro rojo *Cedrela odorata*, los higos *Ficus* sp. y el platanillo *Bernoullia flammea*. Cabe destacar la presencia de un bosque de encinares tropicales (*Quercus glaucescens* y *Q. oleoides*). Sin embargo, actualmente casi todos los tipos de vegetación han sido devastados y solo existen remanentes de selvas altas perennifolias y grandes extensiones de selvas secundarias o acahuales en diversos grados de desarrollo, como producto de las intensas actividades forestales, agrícolas y pecuarias de la cuenca.





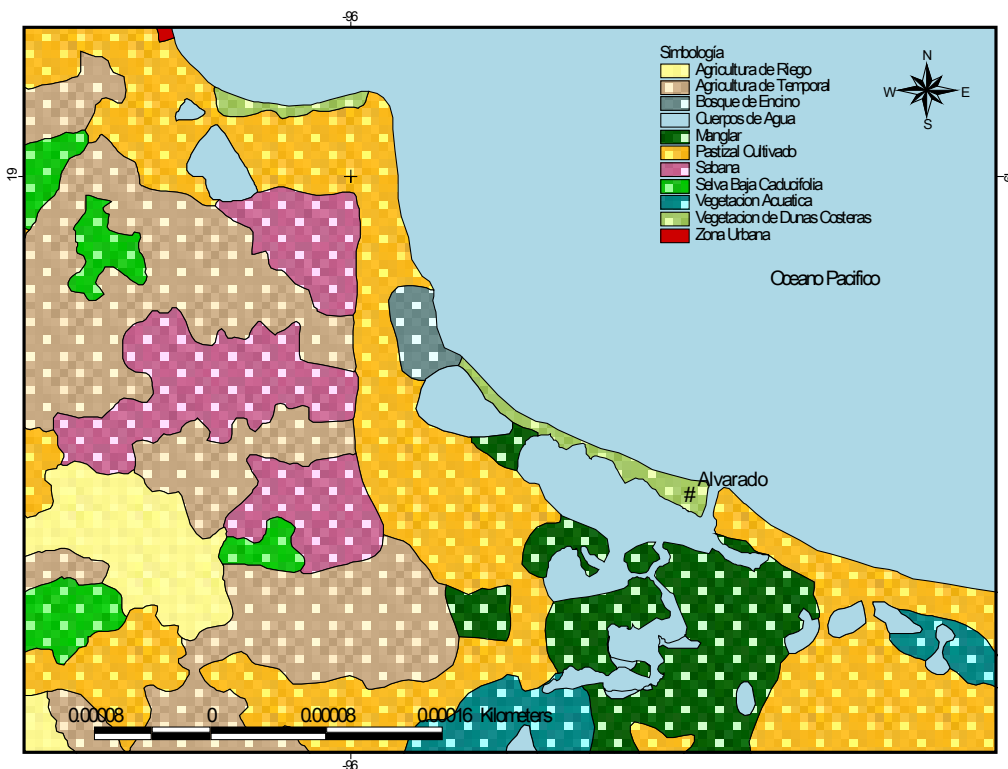


Fig. 11. Tipo de vegetación para el sistema lagunar de Alvarado (Conabio 1998)

### g. Riqueza Ictiofaunística del sistema Lagunar

El grupo de vertebrados más numeroso que se encuentra en el complejo lagunar de Alvarado son los peces, la riqueza de especies. De acuerdo a Chávez et al. (2005) el cual hace una revisión de la composición ictiofaunística durante diferentes épocas, observó que durante los años de 1987 a 1991 y 2002 se registraron 93 especies, pertenecientes a 63 géneros y 33 familias; para la primera temporada de trabajo se colectaron 78 especies, para 2000–2001 se registraron 62 especies y en 2001-2002 se colectaron 57 especies. Al añadir los registros de Reséndez (1973) se estableció un registro de 109 especies de 77 géneros y 39 familias. Las familias con mas especies fueron Cichlidae con 9 especies, Carangidae 8 especies, Gobiidae con 7 especies y Gerreidae con 6.

El Sistema Lagunar de Alvarado ha pasado por diferentes eventos que seguramente han influido en su dinámica hidrológica y sobre la composición de las comunidades en el tiempo; Villalobos et al., (1975) describieron a mediados de 1960 que la descarga de los



---

ríos era la principal influencia en el patrón hidrológico y de salinidad, la estratificación del sistema ocurría desde la zona estuarina del río Papaloapan hacia la región central de la laguna, prácticamente el carácter de la laguna era oligohalino, con aumentos provocados por la marea durante la temporada de secas; en 1982 se abrió una boca artificial de comunicación en la Laguna Camaronera con la finalidad de aumentar la salinidad en esa zona para aumentar la producción de camarón (Morán et al. 2005); Rosalez-Hoz et al., (1986) reportaron un cambio sustancial de la salinidad en la Laguna Camaronera, de 4 ‰ antes de la apertura de la boca de comunicación hasta 25 ‰ durante su funcionamiento, Raz-Guzmán et al. (1992) establecieron las condiciones hidrológicas imperantes durante la década de los años 1980, la salinidad se registró desde 0 ‰ en las salidas de ríos hasta polihalina durante la temporada de secas particularmente en Laguna Camaronera, mientras que el resto de la laguna presentaba características mesohalinas.

Estos eventos explican parcialmente la composición de especies para los años 1966-68, con la presencia de especies dulceacuícolas esporádicas y en menor número de especies eurihalinas permanentes. El ensamblaje de especies de 1987 a 1991 fue dominado por un número importante de especies marinas eurihalinas y estenohalinas, el efecto del aumento de la salinidad por la apertura de la boca artificial en la Laguna Camaronera restringió el número de especies dulceacuícolas, en este periodo sucedió un evento de El Niño durante 1989, este año la composición presentó un mayor número de especies eurihalinas marinas y dulceacuícolas tanto permanentes como frecuentes.

Para los ciclos 2000-2001 y 2001-2002, disminuye notablemente la cantidad de especies marinas y aumenta la cantidad de especies dulceacuícolas y estuarinas, estos ensamblajes de especies mostraron parecido al reportado por Reséndez (1973) para los años 1966-68; aparentemente ha sucedido un cambio en el régimen salino del sistema, pues durante los dos últimos ciclos una gran parte del sistema lagunar presentó características oligohalinas y limnéticas, solo en la temporada de secas las zonas de las bocas de comunicación son mesohalinas o polihalinas (Morán et al. 2005). Además, la boca de comunicación de la laguna Camaronera ha sido dragada en 1990 y 1996, esto sugiere un proceso de sedimentación en exceso que ya no es compensado por la circulación de la laguna y que favorece la prevalencia de las condiciones oligohalinas, otro factor que se puede añadir es un efecto posterior al evento del Niño de 1988 que ha sido reportado para otras lagunas costeras de América (García et al. 2001; Kupschus y



---

Tremain 2001; Mol et al. 2002).

El Golfo de México es una región sujeta a diferentes conflictos, en particular para la región centro sur del estado de Veracruz, las intensas actividades petroleras generan cambios en el uso del suelo, la zona de Alvarado no es la excepción y desde 2000 en sus cercanías se ha iniciado la explotación de mantos de gas natural y las prospecciones se dirigen hacia la zona del sistema lagunar, también se deben añadir otras actividades como la pesca sin regulación, el crecimiento demográfico y la ganadería que provocan la desaparición de hábitats valiosos para los peces y la alteración de las características hidrológicas del sistema (Blabber 2002; Whitfield y Elliot 2002), y que en conjunto amenazan seriamente la integridad de los hábitat del sistema lagunar y de las especies que los ocupan.

#### **h. Avifauna**

De acuerdo al inventario publicado por De Sucre-Medrano et al. (1996), se registra un total de 343 especies y 220 géneros pertenecientes a 47 familias y 18 órdenes. Escalante et al. (1992) y Navarro y Benitez (1993) señalan que para México existen 1,060 especies de aves, asimismo, mencionan a Veracruz como el segundo Estado del País en riqueza avifaunística con 687 especies. Esto indica que, históricamente, en el sistema lagunar de Alvarado se encuentra representado el 32.3% de las especies mexicanas y casi el 50% de las especies registradas para el Estado de Veracruz. Las familias con mayor número de especies fueron Emberizidae (87), Tyrannidae (38), Anatidae (20), Scolopacidae (19), Accipitridae (18) y Ardeidae (13). De las 343 especies, hay 165 residentes (48.2%), 105 migratorias (30.6%) y 29 transitorias (8.5%). Se registran 126 especies con alguna categoría de protección en la NOM-059-SEMARNAT-2001. Como presiones ejercidas por las actividades humanas se puede mencionar que en las dunas consolidadas y ribera del sistema lagunar, donde existía selva mediana, se ha eliminado paulatinamente, esto desaparece la cobertura forestal que es importante para las especies para alimentación, establecimiento de nidos y descanso. Otro de los factores negativos es que grandes extensiones, que anteriormente estaban ocupadas por humedales, han sido transformadas en potreros los cuales requieren la quema continua de la vegetación para promover el crecimiento de pasto.



Esta gran área enfrenta graves impactos por contaminación, sobre explotación de sus recursos vivos y cambios ambientales que se reflejan en destrucción de hábitats y bajas producciones de biomasa. Los humedales costeros le otorgan un valor muy alto como hábitat ya que es sustento de la economía ecológica del Golfo.



## V. Artículo: "SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN SALINITY, NUTRIENTS AND CHLOROPHYLL *a* IN THE ALVARADO LAGOON SYSTEM, VERACRUZ, MÉXICO"

Gulf and Caribbean Research Vol 17, 133–143, 2005

Manuscript received January 29, 2003; accepted December 7, 2004

### SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN SALINITY, NUTRIENTS, AND CHLOROPHYLL *a* IN THE ALVARADO LAGOONAL SYSTEM, VERACRUZ, MEXICO

Ángel Morán-Silva, Luis Antonio Martínez Franco, Rafael Chávez-López, Jonathan Franco-López, Carlos M. Bedía-Sánchez, Francisco Contreras Espinosa<sup>1</sup>, Francisco Gutiérrez Mendieta<sup>1</sup>, Nancy J. Brown-Peterson<sup>2</sup>, and Mark S. Peterson<sup>2</sup>

Laboratorio de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Av. de los Barrios No.1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, C.P. 05490 Mexico, E-mail amorans@servidor.unam.mx

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Mexico

<sup>2</sup>Department of Coastal Sciences, The University of Southern Mississippi, 703 East Beach Dr., Ocean Springs, Mississippi 39564 USA

**ABSTRACT** Ten monthly collections, distributed among three seasons, were taken from July 2000 to June 2001 in the Alvarado lagoonal system, Veracruz, Mexico. Variables measured *in situ* included dissolved oxygen, salinity, and water temperature. Water samples were collected to determine concentrations of ammonium, nitrates, nitrites, orthophosphates, total phosphorus and chlorophyll *a*. Collections representing the rainy season were taken in September and October, those for the nortes season were taken in November, December, and January, and dry season collections were taken during February, March, May June, and July. There was seasonal and spatial variation in nutrient concentrations, and they were related to the discharge of the rivers; concentrations increased during the rainy and nortes seasons. Other factors affecting water quality included the constant discharge of organic materials into the system, resuspension of sediments during the nortes season and the biological activity within the system that assimilated the nutrients in the water. The Alvarado lagoonal system has three separate zones based on physicochemical characteristics; Camaronera Lagoon, Buen País Lagoon and the urban zone of Alvarado Lagoon, and the river zone in Alvarado Lagoon.

**RESUMEN** Se realizaron diez muestreos durante el periodo comprendido entre Julio de 2000 a Junio de 2001, distribuidos a lo largo de tres estaciones climáticas, en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Los parámetros que fueron registrados *in situ* incluyendo oxígeno disuelto, salinidad y temperatura de agua. Al mismo tiempo se colectaron muestras de agua para determinar en laboratorio las concentraciones de amonio, nitratos, nitritos, ortofosfatos, fósforo total y clorofila *a*. Los meses de colecta que abarcaron las temporadas de lluvias fueron tomadas en Julio, Septiembre y Octubre, para Nortes Noviembre, Diciembre, y Enero, y por último, la temporada de secas que correspondieron los muestreos de Febrero, Marzo, Mayo, y Junio. Los nutrientes presentan una variación espacio-temporal presentando relación con: la descarga de los ríos, incrementándose su concentración durante la temporada de lluvias y Nortes; las constantes descargas de agua provenientes de diversas actividades humanas, como son la agricultura y los asentamientos humanos; la resuspensión de los sedimentos durante la temporada de Nortes; y la gran actividad biológica de estos sistemas que permiten la rápida transformación de la materia orgánica en nutrientes. El sistema lagunar de Alvarado presenta tres zonas diferentes basadas en sus características físicoquímicas: Laguna de Camaronera, Laguna de Buen País y la zona urbana de Laguna de Alvarado, y la zona de ríos en Laguna de Alvarado.

#### INTRODUCTION

Coastal lagoons are productive aquatic systems with a large amount of energetic input. They frequently show elevated concentrations of nutrients (Mee 1978), and many are considered eutrophic. Annually, the constant wind-driven movement of the water column resuspends sediments, which furnishes nutrients to the water column through the biogeochemical cycle and the transformation of materials that were in the sediments (Colombo 1977). Rivers and their drainages provide additional nutrients.

These nutrients can exhibit large seasonal variation, with the highest concentration generally found following a rainy period. Minimal concentrations are detected after the spring phytoplankton bloom, although even in those months, the concentration of nutrients is higher than that in the adjacent coastal zone (De la Lanza and Arenas 1986).

In Mexico, estuarine lagoonal systems represent 30 to 35% of the coastal areas, and 42 of the 134 lagoons are found along the coast of the Gulf of Mexico (GOM) and the Caribbean Sea (Contreras 1985). The estuarine systems along the GOM are generally bordered by well developed



marsh zones, and the ocean influence is accentuated (Kennish 1986). However, in the southern GOM, estuarine systems are generally bordered by mangroves and the degree of oceanic influence varies greatly. In these systems, many factors such as salinity show great seasonal variation. It is common to encounter a gradient where the salinity is higher near the inlets and decreases towards the rivers.

Typically, three seasons (rainy, dry and nortes) define the hydrological behavior of the southern GOM systems (Gómez 1974, Villalobos et al. 1975, Lankford 1977, Botello 1978, Contreras 1988). The rainy season usually occurs from June through September and is characterized by consistent rainfall and large terrestrial runoff, resulting in frequent floods, turbid waters and additional pressures due to the influence of drainage from the land (Contreras 1985). During this season there are brief times of calm weather, characterized by cessation of the rains, high temperatures and elevated rates of evapotranspiration. During these periods, extraordinary photosynthesis occurs, with values occasionally exceeding  $700 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$  and elevated concentrations of chlorophyll *a* of  $100 \text{ mg/m}^3$  (Contreras 1994). The dry season is typically from March through June and has minimal rainfall and river flow (Villalobos et al. 1975, Contreras 1983). The dry season is characterized by elevated temperature, clear water and relative stability in phytoplankton diversity, and the lagoon is generally affected by the dominance of ocean water mass. The higher salinity found during the dry season may be due to evaporation and the reduced influence of the rivers (Villalobos et al. 1966, Contreras 1983). During the nortes, or winter season (October–February), there are strong winds blowing from the north off the GOM and temperatures are low (Herrera and Comin 1995, Barreiro and Aguirre 1999). Autotrophic processes dominate over heterotrophic processes, and there is a considerable quantity of dissolved organic material including organic phosphorus.

The Alvarado lagoonal system is a typical coastal estuary along the southern GOM that supports a variety of different activities, such as fishing, transportation and urban development. A previous study on the hydrography and productivity of this system identified 5 distinct areas, determined by water temperature and chlorinity, within the lagoon: areas with marine influence, areas with freshwater influence, a gradient area, a calm area and the coastal adjacent area (Villalobos et al. 1966). These authors also established that the hydrological and biological characteristics of the lagoon were clearly defined by the rainy and dry seasons. The lagoon is polyhaline with a tendency towards being mesohaline during the dry season and becomes almost totally freshwater during the rainy season (Villalobos et al. 1975). The biological productivity in the

system is high, and primary production and the number of phytoplankton cells are inversely related to the phytoplankton biomass and the postlarval stages of shrimp (Villalobos et al. 1975). More recently, Morán-Silva et al. (1996) reviewed the general hydrological behavior of the Alvarado lagoonal system. They concluded that the hydrological conditions are a direct result of the fluvial discharges and found the lagoon to be predominantly oligohaline. Higher salinity values were found only during the dry season or near the inlets and water temperature varied seasonally. The shallow depth throughout the system, in combination with the winds, allows mixing and aeration of the water column despite the high primary production observed. High nutrient concentrations were found near river mouths, mangroves, and submerged vegetation, presumably through degradation of organic material and resuspension of the sediments. However, the Morán-Silva et al. (1996) study did not examine the seasonal differences in nutrients in the system. Thus, the principal objective of this work is to describe, analyze and characterize the seasonal-scale patterns of the salinity, physicochemical and nutrient variables and their relationship with chlorophyll *a* during the dry, rainy and nortes seasons in the Alvarado lagoonal system, Veracruz, Mexico.

#### Study Area

The Alvarado lagoon system is located in the coastal plain of the GOM, 63 km southeast of the port of Veracruz, between  $18^{\circ}46'$  and  $18^{\circ}42'N$  and  $95^{\circ}34'$  and  $95^{\circ}58'W$  (Figure 1). Lankford (1977) considered the system to be a drowned river valley. The lagoonal system consists of 3 smaller lagoons with a total length of about 27 km and a surface area of 6,200 ha. Alvarado Lagoon, the main body of water, continues to the west into Buen Pais Lagoon, which is connected to Camaronera Lagoon through a narrow channel to the west. The primary connection to the ocean is Alvarado Inlet, situated at the northeast of the system. A small, 400 m wide outlet to the ocean was constructed in 1982 in Camaronera Lagoon. The Papaloapan River discharges into Alvarado Lagoon from the southeast. Tidal influence does not diminish the outflow of this river, and mean daily flow into the lagoon is 40 million  $\text{m}^3$  (Contreras 1985). This system is classified as a positive estuary, because the surface water evaporates at a lesser rate than water is added by the river flow (McLusky 1981). This characteristic is in contrast to many lagoonal systems that are hypersaline due to high evaporation and low freshwater input.

The climate of the area is tropical and humid, and precipitation during the summer ranges from 110 to 200 cm. The mean annual temperature varies between 22–26 °C,



## SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN WATER QUALITY

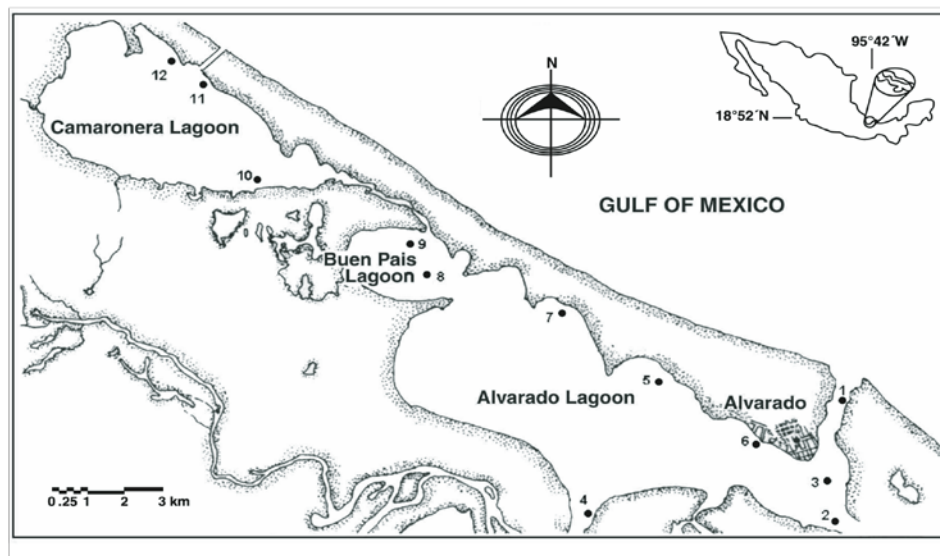


Figure 1. Map of sampling locations in the Alvarado Lagoon system, Mexico.

with temperature oscillations between 5–7 °C between each season (Garcia 1973). The prevailing southeast winds have a maximum velocity of 14.4 msec<sup>-1</sup>, except for October, when winds from the north and northeast range from 90–129.6 msec<sup>-1</sup> (Contreras 1985).

The lagoon is almost entirely surrounded by mangroves with the typical zonation pattern of red mangrove, *Rhizophora mangle*, bordering the water and black mangrove, *Avicennia germinans*, and white mangrove, *Laguncularia racemosa*, immediately interior. Other sporadically occurring aquatic vegetations include wild celery, *Vallisneria americana*; cordgrass, *Spartina* sp.; and cattail, *Typha* sp.; while the dominant submerged aquatic vegetation (SAV) is *Ruppia maritima* (Morán-Silva et al. 1996). During the rainy season, the water lily, *Eichhornia crassipes*, invades the lagoon.

#### MATERIALS AND METHODS

Twelve stations were established throughout the Alvarado lagoonal system (Figure 1) to detect the influence of rivers, inlets, SAV and urban discharges. We defined groups for each system: Camaronera group includes stations 10–12; Buen Pais group includes stations 8–9; the Alvarado Lagoon group (urban dominated) includes stations 5–7; and finally the river dominated group includes stations 1–4 in Alvarado Lagoon. Sampling

occurred at about 30 d intervals between July 2000 and June 2001. Water temperature (°C) was measured with a mercury thermometer, salinity (psu) with a YSI model 33 salinometer and dissolved oxygen (D.O., ml/l) with a YSI model 51b meter during each collection. Surface water samples were collected at each station for nutrient concentration determination. Methods follow Contreras (1994) for ammonium (NH<sub>4</sub>, mg-at/l), nitrate (NO<sub>3</sub>, mg-at/l), nitrite (NO<sub>2</sub>, mg-at/l), phosphate (PO<sub>4</sub>, mg-at/l), and total phosphorus (P-TOT, mg-at/l). Determination of chlorophyll *a* (chl *a*, µg/l) follows techniques in SCOR-UNESCO (1980). The samples were kept on ice for 48 h prior to analysis (Strickland and Parsons 1972, Wetzel and Likens 1990).

We used correlation analysis to examine the relationship between nutrient concentration and chl *a* (Daniel 1977). Dendrograms were constructed of temporal and spatial classification with Euclidian distance (values range from 0, when entities are identical, to infinity) using the monthly salinity data from each station. Classification of the system using salinity followed the procedure of Carriker (De la Lanza 1994). For all analyses we used the Community Analysis Program (ANACOM) 3.1 (De la Cruz, 1994), and results were considered significant if  $P < 0.05$ .



## RESULTS

### Physicochemical variables

Salinity varied among all stations from 14.2 psu during the dry season in June to 0.0 psu during the rainy season in September. The lowest salinity values were always associated with the rivers (0–7.1 psu), whereas the highest values were found in Camaronera and Buen Pais Lagoons (Figure 2a). Salinities at the Alvarado Lagoon stations showed the highest values in March.

Dissolved oxygen varied from 12.8 ml/l in Camaronera Lagoon to 4.13 ml/l in the stations of the river group. The highest D.O. values were found during the dry season, and values for all stations peaked in May (Figure 2b). The D.O. values at the Alvarado Lagoon group stations fluctuated more than those from the other stations.

Water temperature varied seasonally, with annual variation ranging from 21.6 °C during the nortes season to 32.2 °C during the rainy season (Figure 2c). Water temperature tended to be higher in the Alvarado Lagoon zone and lower in the stations with river discharge throughout the year.

### Nutrients

Ammonium was the dominant form of inorganic nitrogen, representing 60.98 to 88.3 % dissolved inorganic nitrogen (DIN). The highest ammonium concentration was 42.43 µg-at/l during the dry season in Buen Pais Lagoon, and the lowest was 2 µg-at/l during the dry season in Camaronera Lagoon (Figure 3a). In general, the highest ammonium values were found at the river group stations and in Buen Pais Lagoon. The highest nitrite concentration was 3.54 µg-at/l during the dry season at the river stations. Undetectable amounts of nitrite were found during the dry season in Buen Pais and during the rainy season in the Alvarado Lagoon group (Figure 3b). Nitrite peaked in the Alvarado Lagoon group (urban zone) at the end of the nortes season. Nitrates were highest during the nortes season in the urban and rivers zones (7.9–10.6 µg-at/l), and lowest (0.67 µg-at/l) in Camaronera Lagoon during the nortes season (Figure 3c). A smaller peak of nitrate was evident in all stations at the end of the dry season.

Camaronera Lagoon had the greatest range in total phosphorus, with highest values during the rainy season (18.8 µg-at/l) and lowest values during the nortes season (3.5 µg-at/l; Figure 4a). Highest values for all stations occurred during the rainy periods (Figure 4a). The values of orthophosphates were highest at the end of the dry season (4.5–6.2 µg-at/l) and lowest during the rainy season (0.37–0.48 µg-at/l) at all stations (Figure 4b).

### Chlorophyll *a*

Chlorophyll *a* values fluctuated during the annual cycle, with lowest values during the dry season (4.3–18.8 µg/l) and highest values in the nortes season (11.5–92.6 µg/l). Buen Pais Lagoon exhibited the greatest fluctuation in chl *a* (Figure 4c). Overall, the river group stations had the lowest chl *a* values (5.1–32.1 µg/l). Correlations between chl *a* and the physicochemical and nutrient measurements differed seasonally, but there were no significant correlations between chl *a* and any other variable measured (Table 1). During the rainy season, there was a moderately positive correlation between chl *a* and salinity and D.O., and a strong negative correlation with ammonium and nitrite. During the nortes season, total phosphorus showed a strong, negative correlation with chl *a*. Salinity had a moderately positive correlation with chl *a* during the dry season, while total phosphorus and phosphates were moderately negatively correlated.

### Spatial-temporal variation

The variability of most of the parameters was reflected principally in salinity, which was rapidly modified by the rain and tidal influence. Using salinity in a cluster analysis, three principal groups were evident (Figure 5a). Group 1 consists of the months of September and October, representing the rainy season, when the system was oligohaline with salinities ranging from 0 to 3.8 psu. Group 2 consists of the months November, December, January and February, corresponding to the nortes season when the salinity begins to increase, ranging from 0 to 11.5 psu. The third group corresponds to the dry season (March, May and June 2001), with the highest salinity values (2 to 14.5 psu), resulting in a mesohaline system. However, July is isolated from the other groups. This month corresponded to the rainy season, while June 2001 was more similar to the dry season due to a lack of rain during that year.

When cluster analysis was applied to the collection stations, the analysis resulted in three groups separated by marine or freshwater influence (Figure 5b). The first group consisted of stations located in Camaronera Lagoon (12 and 11) that receive direct tidal influence through the inlet and had the highest salinities (up to 21 psu). The second group has stations separated into 2 sub-groups, with stations 8–10, representing the eastern portion of Camaronera Lagoon and Buen Pais Lagoon, as one sub-group and stations 5–7, the urban dominated stations, as the second sub-group. The first sub-group receives some tidal influence and had mean salinities ranging from 6.33 to 8.75 psu, while the second sub-group consisted of lower salinity stations located along the eastern shore of Alvarado Lagoon with a marked influence from urban zones. The final major





## SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN WATER QUALITY



Figure 2. Plot of mean monthly salinity (A), dissolved oxygen (B), and water temperature (C) over the course of the study pooled by sampling stations within each of the four groups.

group contained all the stations associated with the river group (1–4) and can be defined as an oligohaline zone.

#### DISCUSSION

It is well known that the variability of the hydrological variables and nutrients is especially marked in lagoonal systems. This is due to many factors, like the dynamics in the circulation of the lagoon as affected by the tides, the winds, and the shallow depth. Furthermore, constant resus-

pension of sediments, regeneration processes originated by microbial activity in the sediments, river flow, and human activities contribute to nutrient variation (Colombo 1977, Snedaker and Brown 1982).

As expected, the low salinity values found during the rainy season were a result of the increased freshwater inflow into the lagoonal system (Botello 1978). Similarly, the months corresponding to the dry season (March, May and June in this study) had the highest salinity throughout the system, due to reduced river flow. However, the months



MORÁN-SILVA ET AL.

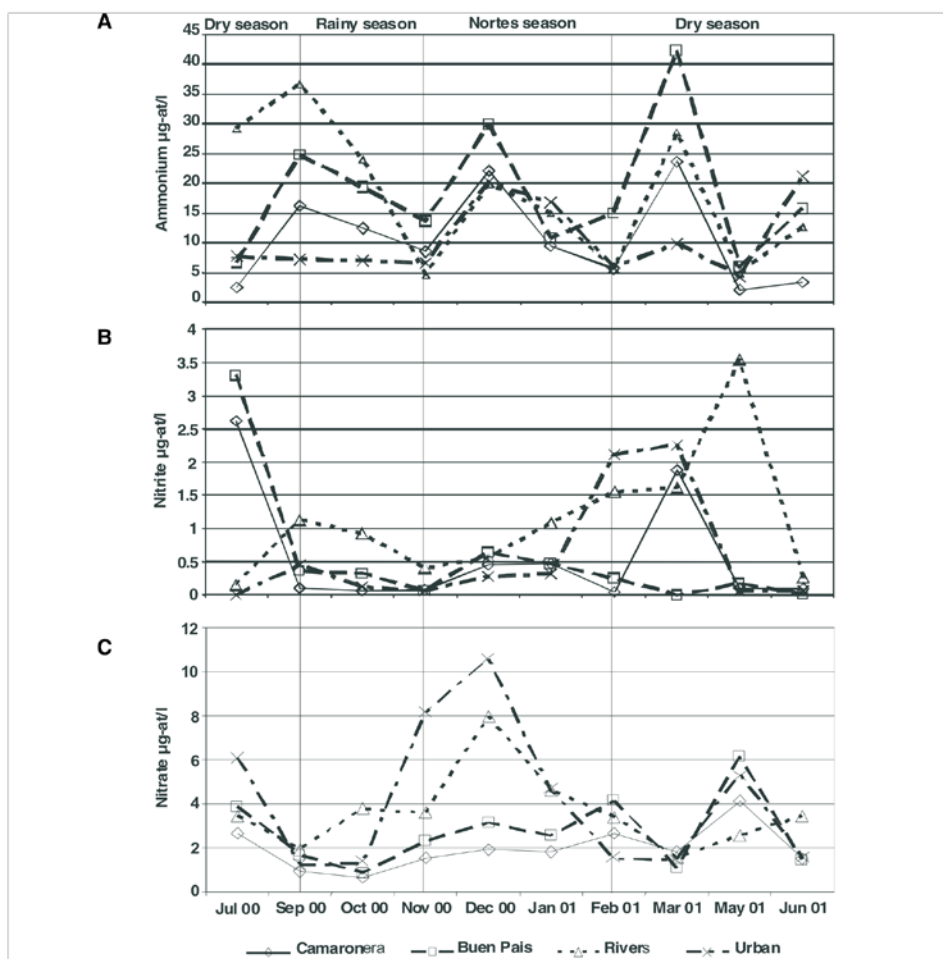


Figure 3. Plot of mean monthly ammonium (A), nitrite (B), and nitrate (C) over the course of the study pooled by sampling stations within each of the four groups.

during the nortes season (December, January and February) had salinity values similar to the dry season. Thus, the Alvarado lagoonal system can be considered oligohaline during the rainy season and mesohaline during the nortes and dry seasons. However, the stations close to the river mouth remained oligohaline during the dry season, indicating a weak marine influence in the lagoon (Morán-Silva et al. 1996). Seasonal differences in salinity have been noted previously in other Mexican lagoons, such as the Celestum Lagoon (Herrera-Silveira and Comin

1995) the Tampamachoco Lagoon (De la Lanza et al. 1998), and the Alvarado lagoonal system (Morán-Silva et al. 1996).

The lowest D.O. concentrations were encountered in September, which corresponds to the end of the rainy season, when there is an increase in suspended organic material. When organic material is resuspended, microorganisms begin decomposition, removing oxygen from the water column (Kennish 1986). The highest D.O. concentrations were found associated with seagrass beds, similar



## SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN WATER QUALITY

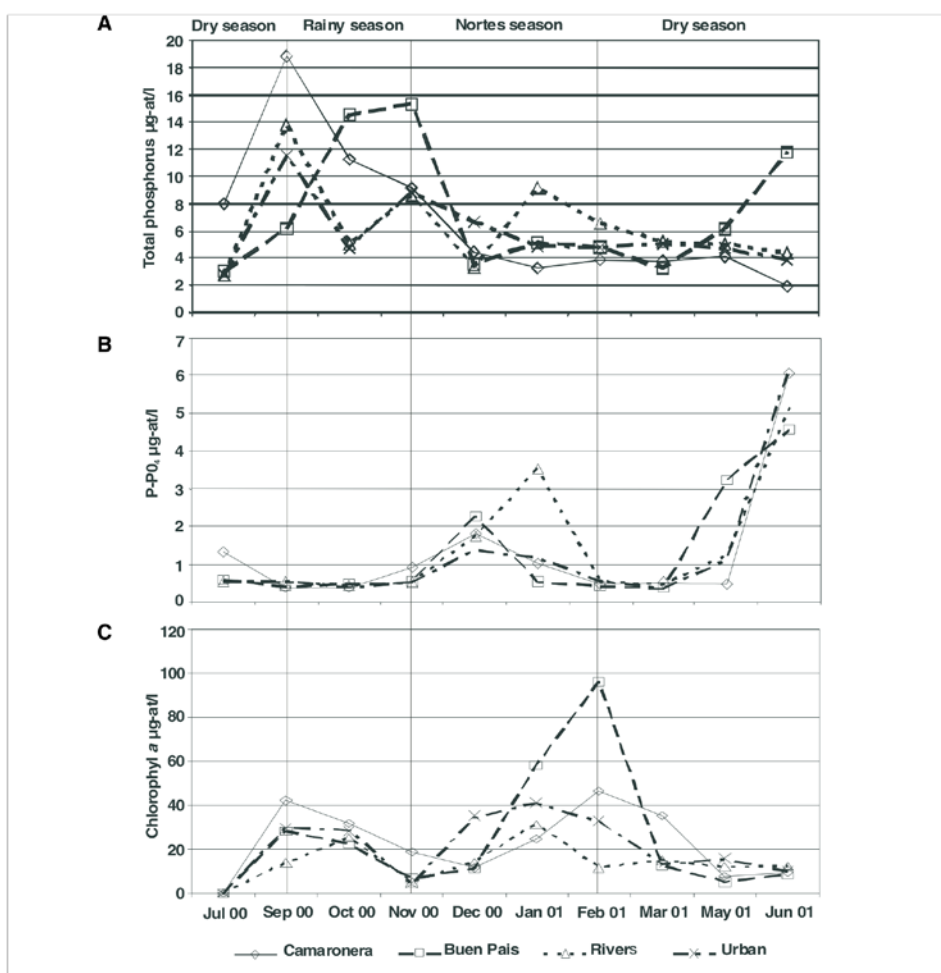


Figure 4. Plot of mean monthly total phosphorus (A), orthophosphate (B), and chlorophyll *a* (C) over the course of the study pooled by sampling stations within each of the four groups.

to reports by Contreras and Gutierrez (1989) for other systems in the state of Veracruz. Overall, D.O. concentrations remained relatively heterogeneous and could be related to photosynthetic activity, seasonality, mixing of water and tidal activity (Botello 1978, De la Lanza and Cantu 1986), or to the presence of SAV throughout the system.

With respect to nutrients, the form of ammonia in this type of system comes from degradation of organic material, submerged vegetation and waste from organisms (Tiejten 1968, Botello 1978, De la Lanza and Arenas

1986). Ammonium was the predominant form of inorganic nitrogen during all the seasons. Similarly, Kennish (1986) found that ammonium was the predominant form of inorganic nitrogen in estuarine waters. This agrees with reports by Contreras and Castañeda (1992) and Contreras (1983) for the Tampamachoco Lagoon and the lagoonal system of Carretas-Pereyra, respectively. Maximal ammonium values were observed in Buen Pais Lagoon during the dry season, no doubt enhanced by the increasing temperature that favors a greater degradation of organic mate-



MORÁN-SILVA ET AL.

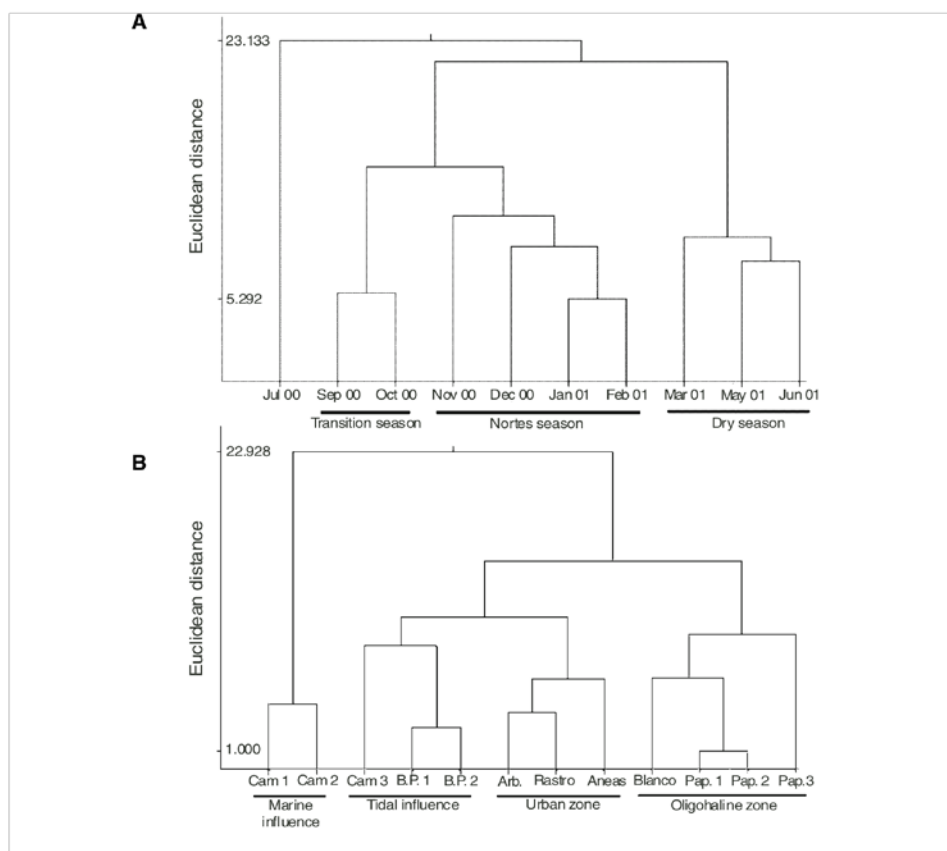


Figure 5. Dendrogram based on Euclidean distance of monthly (A) and station (B) salinity values. Station numbers correspond to stations in Figure 1. Cam-Cameronera Lagoon; B.P.-Buen Pais Lagoon; Arb., Rastro, Aneas—urban areas on the north side of Alvarado Lagoon; Blanco-Blanco River, Alvarado Lagoon; Pap.-Papaloapan River, Alvarado Lagoon

rials found in the sediments as well as increased waste from organisms in the water column. However, Kennish (1986) indicated that the concentrations of the nitrogenous components can be augmented with the river flow. We observed a similar increase in the river group stations during September, a time of high river flow in Alvarado Lagoon. Day et al. (1998) reported a similar situation in Terminos Lagoon, showing augmentation of nutrient concentrations during times of high discharge from the rivers.

Buen Pais Lagoon had generally higher values of ammonium than the other two lagoons within the system, with a peak in March. This may be due to slower water circulation in this lagoon relative to the others in the system (Villalobos et al. 1975). In contrast, the urban areas of

Alvarado Lagoon did not have an increase in nitrogen in March, although there were peaks in June and December. Alvarado Lagoon is impacted by urban discharges from the Port of Alvarado, which tend to increase the nitrogen concentration in the water (Barreiro and Aguirre 1999). This was particularly evident for nitrate during the norles season.

The Lagoon showed notable hydrological variation on spatial as well as temporal scales. For instance, eutrophication was noted in semi-isolated areas such as within canals, which had minimal effects of circulation, yet the rest of the Lagoon was not eutrophic. On a temporal scale, the dry and wet seasons result in changes in salinity and nutrients with consequent variation in the habitat during the annual



## SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN WATER QUALITY

TABLE 1

Seasonal correlation coefficients (Pearson's  $r$ ) between chlorophyll  $a$  and various water chemistry variables in the Alvarado lagoonal system. No values were significant at  $P < 0.05$ .

Variables	Rainy	Nortes	Dry
Salinity (psu)	0.55	-0.04	0.43
Dissolved oxygen (ml/l)	0.59	-0.15	0.02
Temperature ( $^{\circ}$ C)	0.35	-0.24	0.29
Ammonium ( $\mu$ g-at/l)	-0.65	0.29	0.10
Nitrite ( $\mu$ g-at/l)	-0.14	0.27	-0.20
Nitrate ( $\mu$ g-at/l)	-0.74	-0.13	0.15
Phosphate ( $\mu$ g-at/l)	-0.15	0.14	-0.37
Total phosphorous ( $\mu$ g-at/l)	-0.20	-0.62	-0.47

cycle. The nutrient concentrations reached during the rainy season were more elevated than during the dry season.

The Alvarado lagoonal system had the highest phosphorus concentration during the rainy season. While this nutrient comes principally from organic material, it is also produced through autochthonous processes such as bioturbation and remineralization of the sediments and remixing by currents (Groen 1969). Total phosphorus was highest during September throughout the lagoonal system, no doubt due to the effects of increased river runoff and resuspension of the sediments (Groen 1969). Concentration decreased gradually to the lowest point during the dry season. A peak of orthophosphates in June may be related to the decrease in chl  $a$  concentration during this month, as phytoplankton utilize orthophosphates (Contreras and Castaneda 1992). Overall, Camaronera Lagoon had the lowest concentration of phosphates, probably because currents are minimal, resulting in little resuspension of the sediment where the majority of phosphates are stored (De la Lanza 1996). In Alvarado Lagoon, phosphates were higher during the nortes and dry seasons compared to the rainy season, and variation was not as great as in the other lagoons. The variation in phosphate that was observed is probably a direct result of river input. The agricultural land and associated fertilizers within the drainage basin of the Papaloapan River are important sources of phosphates (Correll et al. 1992), which can be transported into the lagoon through erosion and runoff.

A global characteristic of lagoonal phytoplankton is their high productivity. For this reason, we consider coastal lagoons as ecosystems with characteristics intermediate between the ocean and the rivers (Margalef 1969). Since algae are the only organisms that remain constant with respect to other cellular components that are ecologically

important, chl  $a$  concentration can be used to better understand the dynamics of the system (Marshall 1987). Unfortunately, the coefficients of correlation did not show a significant relation between the concentration of chl  $a$  and the physicochemical variables. There is usually a strong relationship between nutrient concentration and chl  $a$  concentration, as has been previously discussed (Contreras 1994). We found an increase from undetectable chl  $a$  in July to moderate levels (14–42  $\mu$ g/l) in September and October, similar to findings in other Mexican lagoonal systems (Contreras et al. 1992, Contreras and Castaneda 1992, Barreiro and Aguirre 1999). Interestingly, the highest correlation between D.O. and chl  $a$  was found during this time, when chl  $a$  began to increase from a dry season low, suggesting an increase in productivity. During November and December, chl  $a$  again decreased in most areas of the lagoon, and chl  $a$  values were higher from January through March, with a peak in February. The high chl  $a$  values in Buen Pias Lagoon during February (96.2  $\mu$ g/l) indicate a hypereutrophic system at that time. The February peak corresponds to the end of the nortes season, a time when Li et al. (2000) found an association of phytoplankton blooms with a peak of nutrients. The decrease in chl  $a$  during May and June may be related to the increase in phosphates and inorganic phosphorus during this time.

Barreiro and Aguirre (1999) found that an increase in nitrate during the rainy season is necessary for a phytoplankton bloom to commence during the dry season. Our data show a dramatic increase in nitrate during November and December, which may be related to the bloom, and a subsequent increase in chl  $a$  in February. The predominance of blooms during the dry season may also be related to calmer water conditions during this time (Marshall 1987).

Overall, the pattern of chl  $a$  was relatively similar among stations and lagoons, with peaks and low points occurring during similar times. Spatial patterns of chl  $a$  respond to local conditions (Barreiro and Aguirre (1999), and the estuarine currents can distribute the phytoplankton biomass asymmetrically (Li et al. 2000). For instance, phytoplankton populations from the ocean may enter the lagoon on incoming tides (Revilla et al. 2000), which may explain the increased chl  $a$  concentration near the inlet in Camaronera Lagoon during September, January and February. On the other hand, Revilla et al. (2000) found that the major concentration of chl  $a$  in estuaries was found in discharge areas that did not receive a direct tidal influence. Similarly, Day et al. (1998) found a major concentration of chl  $a$  in Estero Pargo (mean annual value 8  $\mu$ g/l) in comparison to Terminos Lagoon (3  $\mu$ g/l). However, our



data show that the chl *a* concentration was low at stations located at the Papaloapan and Blanco rivers, where there is major discharge but minor tidal influence.

In terms of spatial distribution, it is possible to distinguish areas directly influenced by terrestrial sources due to elevated quantities of phosphorus. These are interpreted as areas within the lagoonal system with a greater density of primary producers, compared to other zones where different factors, such as circulation, river influence, or winds do not permit the accumulation of phytoplankton. The persistence of these phytoplankton overloaded areas is the direct cause of natural eutrophication or eutrophication originated by urban activities. Natural eutrophication is a result of geographic properties, accumulation of sediment, etc., while anthropogenic eutrophication is a result of uncontrolled use of fertilizers, deforestation, and addition of contaminants and human wastes to the lagoonal system. The continued urban development along the internal coast of the Alvarado Lagoon exacerbates the anthropogenic inputs to the system. Finally, there has been a change in the bottom use in the discharge area of the Papaloapan River that has altered the hydrological dynamics.

Our results suggest that habitats within the lagoonal system have high heterogeneity that is driven by variation in salinity and water temperature. This variation is the result of the influence of river discharge and tidal exchange. In addition, these differences may also relate to the bathymetry, the presence of SAV or the proximity of mangroves. However, our results do not correspond to those reported by other authors. Villalobos et al. (1966) described 5 natural areas based on the influence of the rivers and the ocean, whereas in this work, we define only 3 such areas, which are a function of river discharge, proximity to ocean inlets and the influence of urban discharges. Our findings concur with Lozano (1993) who found that an increase of anthropogenic activities, in conjunction with poor planning, contributed to local and regional changes in hydrological characteristics of the freshwater sources to the Alvarado lagoonal system.

Salinity characteristics of the Alvarado lagoonal system vary seasonally. Our work has reinforced the observations of Villalobos et al. (1975) who described the seasonal salinity variation. Furthermore, two earlier studies on the Alvarado lagoonal system found that salinity varied more than other variables (Sevilla and Chee 1974) and was lowest during the rainy period (Sevilla and Chee 1974, Chee 1981). It appears that the amount of rainfall and subsequent river discharge is one of the forces driving the variability of the system. Thus, to better understand the hydrology of the Alvarado lagoonal system this information is required.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the students from the Ecology Laboratory at FES-Iztacala as well as the fishing community at Alvarado Port, Veracruz, Mexico, for their assistance with this project. The authors thank Dr. W. Boynton of Chesapeake Biological Laboratory for comments on an earlier version of this manuscript.

#### LITERATURE CITED

- Barreiro, G.M.A. and L.A. Aguirre. 1999. Distribución espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical* 47 (Suplement 1) 27–35.
- Botello, V.A. 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en la época de sequía y lluvia (Mayo y Noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 5(1):159–178.
- Chee, B.A. 1981. Aspectos hidrológicos en la Laguna de Alvarado, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. 160 p.
- Colombo, G. 1977. Lagoons. In: R.S.K. Barnes, ed. *The Coastline*. Wiley Interscience, New York, NY USA, p. 63–81.
- Contreras, E.F. 1983. Variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes del área estuarino—lagunar de Tuxpan Tampamachoco, Veracruz, México. *Biotica* 8(2):201–213.
- Contreras, E.F. 1985. *Lagunas Costeras Mexicanas*; Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca. México D.F., 253 p.
- Contreras, E.F. 1994. *Manual de Técnicas Hidrobiológicas*. Editorial Trillas. México D.F., 141 p.
- Contreras, E.F. and F.M. Gutiérrez. 1990. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. In: Rosa-Velez, J. de la and F. González-Arias, eds. *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, p. 57–78.
- Contreras, E.F. and L.O. Castañeda. 1992. Contribución del nanofitoplancton en la cantidad de clorofila "a" de dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 7:61–73.
- Contreras, E.F., A. García, and O. Castañeda. 1992. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en el sistema lagunar-estuarino de Carretas-Pereyra, Chiapas, México. *Universidad y Ciencia* 9(17):43–51.
- Contreras, E.F., A. García, and O. Castañeda. 1994. La clorofila como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. Volumen 2. Número 21, 1–15.
- Correl, D.L., T.E. Jordan, and D.E. Weller. 1992. Nutrient flux in a landscape: Effects of coastal land use and terrestrial community mosaic on nutrient transport to coastal waters. *Estuaries* 15:431–442.
- Daniel, W. 1977. *Bioestadística*. Limusa. México D.F., 485 p.
- Darley, W. Marshall. 1987. *Biología de las algas: Enfoque fisiológico*. Editorial Limusa México D.F., 236 p.



## SEASONAL AND SPATIAL PATTERNS IN WATER QUALITY

- Day, J.W., F. Ley-Lou, C.J. Madden, R.L. Wetzel, and A. Machado. 1988. Aquatic primary production in Terminos Lagoon. In: A. Yanez-Arancibia and J.W. Day, eds. Ecology of Coastal Ecosystems in the Southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Editorial Universitaria, México, D.F., p. 221
- De la Cruz, G. 1994. ANOCOM. Sistema para el análisis de comunidades. Ver 3.1. Manual del usuario. Cinvestav-IPN, Mexico. 99 p.
- De la Lanza, E.G. 1994. Química de las lagunas costeras y el litoral mexicano. In: E.G. De la Lanza and M.C. Cáceres, eds. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, p. 129–190.
- De la Lanza, E.G. 1996. Importancia ecológica de los ciclos bioquímicos en los sistemas lagunares costeros. In: T.M.G. Figueroa, S.C. Alvarez, H. Esquivel, and M.E. Ponce, eds. Fisiología y biología de las lagunas costeras mexicanas. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México, D.F., p. 7–15.
- De la Lanza, E.G. and F.V. Arenas. 1986. Disponibilidad de nutrientes a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. *Ciencia* 37:247–254.
- De la Lanza, E.G. and R.M. Cantú. 1986. Cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmentos (D430/D665) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Ver. *Universidad y Ciencia* 3 (5): 31–43.
- Føyn, E. 1967. Waste disposal and pollution in coastal lagoon. In: *Memorias Simposio Internacional de Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO México D.F.*, p 281–290.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 522 p.
- Gómez, A.S. 1974. Reconocimientos estacionales de hidrobiología y plancton en la laguna de terminos, Campeche, México. (1964–1965) *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México* 1(1):61–82.
- Groen, P. 1969. Physical hydrology of coastal lagoons. In: A. Ayala-Castañares and F.B. Phleger, eds. *Lagunas Costeras, un Simposio. Memoria del Simposio Internacional Lagunas Costeras. Universidad Nacional Autónoma de México-UNESCO México D.F.*, 28–30 Nov 1967, p 275–280.
- Herrera-Silveira, J.A. and F.A. Comin. 1995. Nutrient fluxes in a tropical coastal lagoon. *Ophelia* 42:127–146.
- Kennish M.J. 1986. Ecology of Estuaries. Vol. 1, Physical and Chemical Aspects. CRC Press; Boca Raton, FL, USA, 254 p.
- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification. In: M.L. Wiley, ed. *Estuarine Processes. Academic Press, New York*. Vol. 2, p. 182–215.
- Li, M., A. Gargett, and K. Denman. 2000. What determines seasonal and interannual variability of phytoplankton and zooplankton in strongly estuarine systems? Application to the semi-enclosed estuary of Strait of Georgia and Juan de Fuca Strait. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50:467–488.
- Lozano, M.H.M. 1993. Comparación hidrológica entre la laguna de Alvarado, Veracruz y Términos, Campeche durante el ciclo anual de 1987. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Margalef, R. 1970. Comunidades planctónicas en lagunas litorales. In: A. Ayala-Castañares and F.B. Phleger, eds. *Lagunas Costeras un Simposio. Memorias del Simposio Internacional en Lagunas Costeras. Universidad Nacional Autónoma de México-UNESCO México D.F.*, 28–30 Nov 1967, p 275–280.
- McLusky, D.B. 1981. *The Estuarine Ecosystem. Blackie Glasgow, Scotland*, 150 p.
- Mee, J.D. 1978. Coastal lagoons. In: J.P. Riley and R. Chester, eds. *Chemical Oceanography. 2nd ed. Academic Press. New York, NY, USA*, p. 441–490.
- Morán-Silva, A., J. Franco-López, R. Chávez-López, A.T. Altamirano, and M.A. De Sucre. 1996. Aspectos generales del comportamiento hidrológico del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Revista de Zoología, Numero Especial* 2:1–16.
- Revilla, M., A. Iriarte, I. Madariaga, and E. Oríre. 2000. Bacterial and phytoplankton dynamics along a trophic gradient in a shallow temperate estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50:297–313.
- Sevilla, M.L. and A.B. Chee. 1974. Contribución al conocimiento hidrográfico de la laguna de Alvarado, Veracruz, México. *Memorias del V Congreso Nacional de Oceanografía*:612–634.
- Smith, N.P. 2001. Seasonal-scale transport patterns in a multi-inlet coastal lagoon. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* 52:15–28.
- Snedaker, S.C. and M.S. Brown. 1980. Primary productivity of mangroves. In: O.R. Zaborsky, ed. *CRC Handbook on Biosolar Resources, Volume 1. CRC Press, Boca Raton, FL, USA*, p. 477–485.
- Villalobos, F.A., C.J. Suárez, G. De la Lanza, F.M. Aceves, and J. Cabrera. 1966. Considerations on the hydrography and productivity of Alvarado Lagoon, Veracruz, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 19:75–85.
- Villalobos, F.A., S. Gómez, V. Arenas, J. Cabrera, G. De la Lanza, and F. Manrique. 1975. Estudios hidrobiológicos en la Laguna de Alvarado (Febrero–Agosto 1966) *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* (1):1–34.



---

## VI. INSTRUMENTOS DE GESTION AMBIENTAL RELACIONADOS CON EL ÁREA DE ESTUDIO

### a. Criterios de Clasificación y su Relación con Manejo de la Zona Costera

México cuenta con una extensa zona oceánica bajo su jurisdicción y que requiere ser manejada de la mejor manera para mantener el flujo de beneficios que se derivan de su uso y aprovechamiento, en este sentido, una alternativa para su manejo es la regionalización de la zona costera para su estudio y perspectivas de manejo integral.

La regionalización del territorio establece unidades ambientales, claramente delimitadas espacialmente, que comparten características similares y a la vez son lo suficientemente distintas para diferenciarlas y realizar un uso adecuado de sus recursos. Las unidades resultantes de la regionalización del territorio son la base para la evaluación de la aptitud productiva, y representan el insumo fundamental para la construcción de las unidades de gestión ambiental (UGA) (Rosete 2003).

El “manejo costero” se podría interpretar como la conducción de las actividades que ocurren día a día en tierras y aguas costeras, o bien se podría utilizar para referirse al control total de las instancias gubernamentales que supervisan las actividades diarias. Ambas interpretaciones parecen válidas. Como en el caso de la planeación, el manejo se puede dividir en estratégico y operativo; el primero se refiere al proceso de tener el control de los asuntos de una organización respecto de la costa y el segundo, las actividades de control de acciones en el sitio. De esta forma, el manejo costero integrado aplicado al sistema lagunar de Alvarado se refiere a la administración de componentes sectoriales a través de instrumentos de planeación y con un marco legal definido, para así, permitir el desarrollo multisectorial para avanzar con los menores contratiempos, ejemplo de ello es el siguiente esquema (Fig. 12):





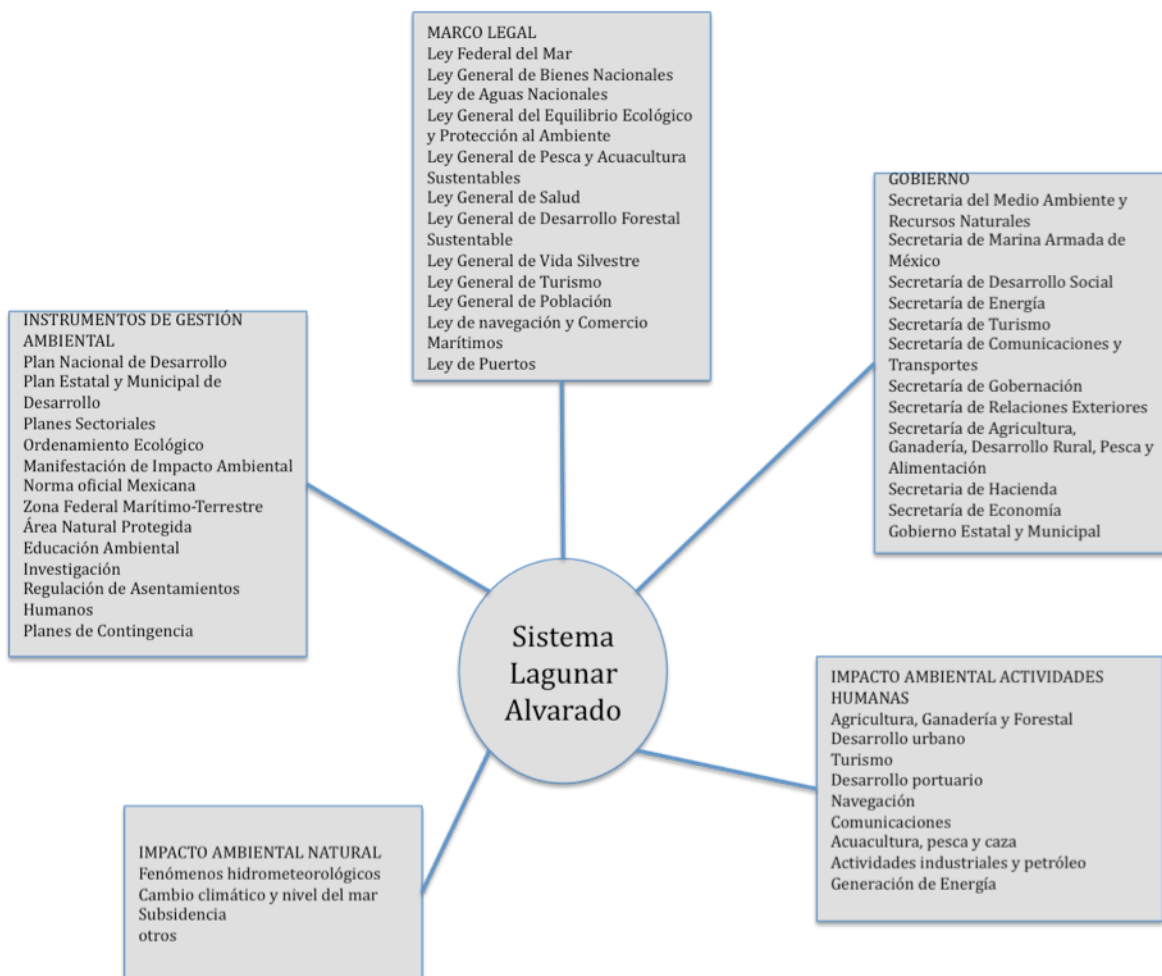


Fig. 12. Modelo de integración aplicado a la zona costera del Golfo de México, modificado de Zárate-Lomelí (1999).

## b. Manejo Integrado de Ecosistemas

El enfoque de manejo de ecosistemas se ha definido como la gestión integrada y comprensible de las actividades humanas, con base en el mejor conocimiento disponible acerca del ecosistema y su dinámica, con el objeto de identificar y tomar acciones sobre influencias críticas para la salud de los ecosistemas marinos y así alcanzar un uso sustentable de los bienes y servicios de estos ecosistemas y la conservación de su integridad.

Sin embargo, tal y como se señala anteriormente, identificar y delimitar ecosistemas en ambientes acuáticos de gran escala es una tarea complicada. Es necesario también considerar las dimensiones humanas del sistema. Por lo tanto, un principio clave para el



desarrollo sustentable de las costas es considerar una perspectiva integrada y de orientación sistémica, esto es, considerar al ecosistema con cuatro subsistemas: cultural, institucional, social y económico, lo cual aporta un marco coherente para la gestión con base en las interacciones de estos subsistemas (Fig. 13). El enfoque ecosistémico está en el centro, permitiendo la conservación de la base del recurso, su uso y el reparto de beneficios entre la sociedad. Esto lleva a asegurar la sustentabilidad intergeneracional de los bienes y los servicios del ecosistema, incluyendo la biodiversidad y los ciclos de productividad e hidrológicos. Por ejemplo, si se basa el manejo desde la perspectiva pesquera, con este concepto se reconocen las interacciones de los recursos de la pesquería y el ecosistema donde se encuentran, y se reconoce los valores y servicios ambientales que los recursos pesqueros y los ecosistemas marinos proveen. De esta manera, es claro que para mantener la producción pesquera se requiere mantener los ecosistemas que producen los recursos pesqueros. Este enfoque representa un cambio de paradigma, pasando de la visión de una sola especie o de enfoques temáticos sectoriales de corto plazo hacia una visión más amplia de la integralidad de los ecosistemas, que se mueve de forma espacial desde escalas pequeñas a las mayores, y de las prácticas de manejo de corto plazo a las de largo plazo (Díaz de León et al. 2004).



Fig. 13. Modelo de desarrollo costero integrado aplicado al Sistema lagunar de Alvarado.



Otra forma de abordar la regionalización y análisis de la zona costera es a través de unidades fisonómicas, éstas son el fundamento histórico de la geografía, la raíz del ordenamiento del territorio, y el elemento clave para agregar operativamente sus rasgos biológicos y antropogénicos (Bocco y Ortiz 1994).

La regionalización basada en el entorno físico es generalmente un buen medio para predecir respuestas de las regiones bióticas (Hayden et al. 1984; Pielou 1979; Zacharías y Roff 2000). Aunque históricamente se han confrontado las aproximaciones ingenieriles, con énfasis en lo físico, y las aproximaciones ecológicas, con acento en lo biológico (Karr 1994), las demandas para predecir la respuesta de los sistemas frente a cambios ambientales han revitalizado la identificación de divisiones paisajísticas naturales para la investigación y la planeación territorial (Ray y Hayden 1992), y han dinamizado la convergencia de disciplinas y la integración de técnicas para sistematizar patrones y procesos de diferentes escalas (Ross 1994). Por lo que eso implica en la planeación y la regulación del uso de recursos, y en el bienestar de la población, las instancias gubernamentales y de investigación han respondido en consecuencia (Loeb y Spacie 1994; Caldow y Racey 2000) (Fig. 14).



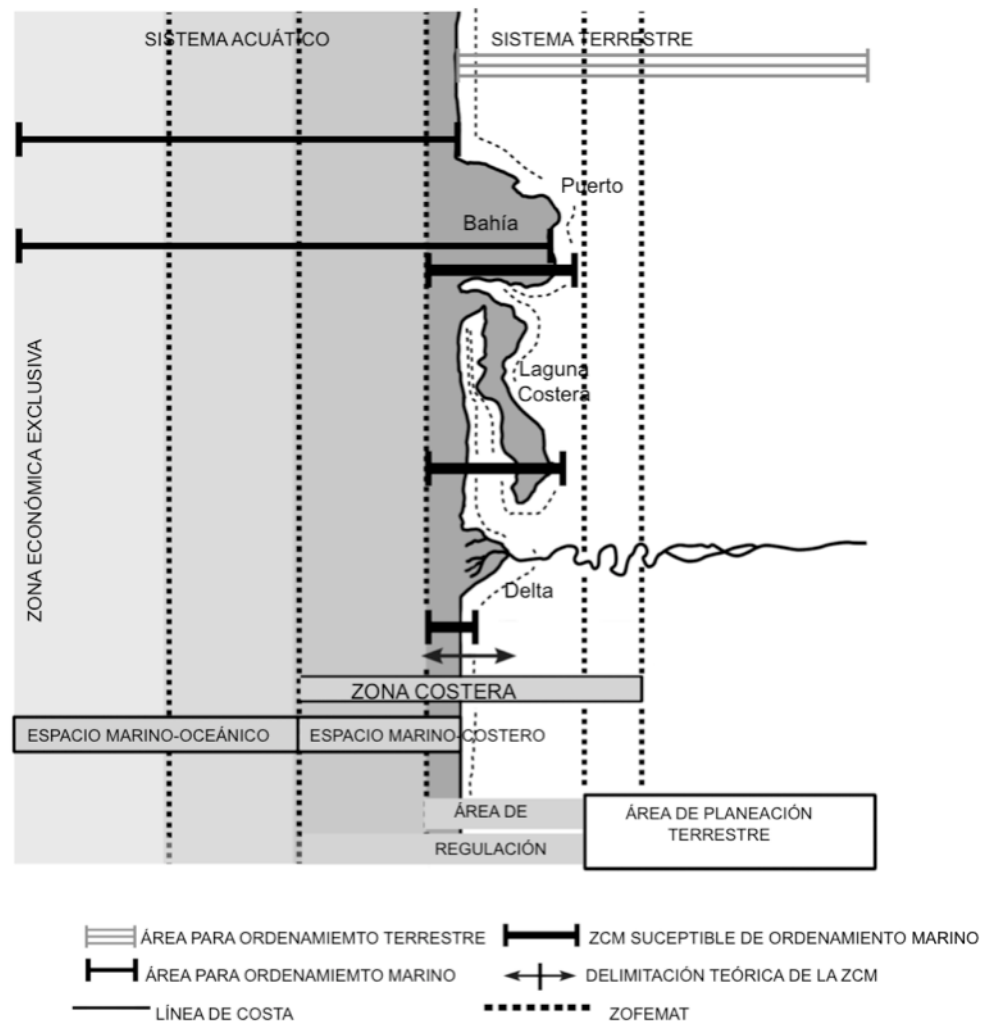


Figura 14. Esquema simplificado de franjas batimétricas e hipsométricas que muestra espacios para ordenamiento terrestre y marino, para una Zona Costera Mínima (ZCM) concebible desde un ordenamiento marino, y la proyección de espacios de competencia administrativa y arreglos de manejo entre territorios receptores y territorios emisores

Una de las propuestas de regionalización se basa en investigaciones y estudios sobre la hidrodinámica de sistemas costeros, como lo son las lagunas costeras, esta propuesta tiene la intención de crear un catálogo nacional de la capacidad de carga de los cuerpos receptores más vulnerables a descargas de aguas contaminadas (vulnerabilidad a la contaminación). Con esto se intentaría programar la carga del entorno (área de planeación). Esta aproximación conlleva un trabajo interdisciplinario para encontrar equivalencias entre sistemas de clasificación (SEMARNAT 2006).



De esta forma, los principales retos para el manejo de los recursos costeros pasa por restringir el desarrollo de las costas subdesarrolladas; proteger, mejorar y manejar la diversidad natural y cultural; promover y apoyar una economía costera dinámica y sustentable; asegurar que las aguas de los sistemas costeros no estén contaminadas; reducir la exclusión social en las comunidades costeras; utilizar racionalmente los recursos naturales; y asegurar una protección costera apropiada y ecológicamente responsable (ETC-TE 2003), por tanto, los indicadores, adecuados a las escalas que correspondan, deben ser representativos de un amplio rango de variables ambientales, económicas y sociales, y servir para la preparación de estrategias al proveer metas y metodologías para identificar tendencias, un ejemplo de ello son los estudios de dinámica hidrológica.

El artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos determina que el Estado debe de conducir el desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable. Asimismo, en términos de este precepto constitucional, corresponde al estado planear y coordinar la actividad económica nacional y promover la concurrencia de los sectores público, social y privado al desarrollo económico nacional. Bajo criterios de equidad social y productiva se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.

Por otra parte, en cuanto al ámbito de acción y competencia de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tiene como finalidad principal promover el derecho constitucional de todas las personas a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar (artículo 4º), así como a contribuir al cumplimiento de los fines previstos en el artículo 27 constitucional, conforme al cual, la nación tiene derecho de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación para, entre otras cosas, cuidar de sus conservación y lograr el desarrollo equilibrado del país.

En este sentido, la conservación de la biodiversidad es una prioridad nacional ante las actividades que impactan al ambiente: cambio de uso de suelo, deforestación,



degradación ambiental y cambio climático, entre otros factores, que enfrenta el país, la cual se ha incrementado durante las últimas décadas (Barbier 2002; Gómez-Mendoza y Arriaga 2007; Mas et al. 2004; Vázquez y Gastón 2006). Para lograr este objetivo, se requieren nuevas metodologías que permitan medir los cambios espaciales y temporales en la integridad de los ecosistemas naturales, lo que implica que se disponga de un marco de referencia para realizar los análisis espaciales y temporales de la cobertura, de la diversidad biológica, de la estructura y función de los ecosistemas, así como de su respuesta a distintas intensidades de impacto o modificación (Hannah et al. 2002; Lugo 2008; Pretty y Smith 2004; Regan et al. 2008).

Las escalas de análisis temporales o espaciales de diversos fenómenos pueden ser muy variables en función de los objetivos de estudio. En cuanto al espacio, la tipificación de las unidades homogéneas o regiones suele ser una forma de caracterizar grandes extensiones (Mu 2004). La regionalización, como herramienta de clasificación, incluye el establecimiento de unidades geográficas temáticas (Luccarelli 1995), como lo son las regionalizaciones biológicas y las de vegetación que comprenden distintos rasgos del relieve, clima, suelos, hidrografía, vegetación así como de otros recursos naturales, cuya cuantificación y caracterización es más utilizada para la conservación de la biodiversidad.

A continuación se presentan las categorías e instrumentos aplicables al sistema lagunar de Alvarado.

<b>Programa/Ordenamiento</b>	<b>Sist. Lagunar Alvarado</b>
Regiones Terrestres Prioritarias de México	No. 124
Regiones Hidrológicas Prioritarias de México	No. 79
Regiones Prioritarias Marinas de México	No. 50
AICA (Áreas de Importancia para la Conservación de Aves)	No. C-50
Sitios RAMSAR	SITIO RAMSAR
Decretos de Áreas Naturales Protegidas Federales	SIN DECRETO
Decretos de Áreas naturales Protegidas Estatales	SIN DECRETO
Ordenamiento Urbano	SIN DECRETO
Ordenamiento Estatal	SIN DECRETO
Ordenamiento Regional	SIN DECRETO

Dentro de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes que se aplican para el sistema lagunar de Alvarado se encuentran las siguientes ordenadas por materia:



<b>NORMA OFICIAL MEXICANA</b>	<b>EN MATERIA DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES</b>
NOM-001-ECOL-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
	<b>EN MATERIA DE FLORA Y FAUNA</b>
NOM-059-ECOL-2001	Protección ambiental: Especies nativas de México de flora y fauna silvestre Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio Lista de Especies en Riesgo
NOM-126-ECOL-2000	Especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional.
NOM-022-SEMARNAT-2003	Especificaciones para la preservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglares.
	<b>EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL</b>
NOM-115-SEMARNAT-2003	Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación y mantenimiento de pozos petroleros terrestres para exploración y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas o terrenos forestales.
NOM-117-ECOL-1998	Especificaciones de protección ambiental para la instalación y mantenimiento mayor de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso, que realicen en derechos de vía terrestres existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.
	<b>EN MATERIA DE PESCA</b>
NOM-002-PESC-1993	Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Para el caso de los sistemas lagunarios estuarinos de jurisdicción federal del Golfo de México, en los períodos y zonas que se indican a continuación: Del 26 de mayo a las 0:00 horas al 10 de julio de 2009 a las 0:00 horas, en los sistemas lagunarios estuarinos del Golfo de México desde la desembocadura del Río Bravo, Tamaulipas, hasta la desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz.

De esta forma, a continuación se presenta la clasificación del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz desde diferentes instancias y con diferentes criterios, como lo son las Regiones Prioritarias de México, las cuales se insertan dentro de los instrumentos de planeación territorial representativos de las regiones biogeográficas descritas para el país así como sus diversos ecosistemas terrestres y acuáticos, incluyen 152 regiones terrestres que cubren 515,558 (Fig. 15), 70 regiones marinas (Fig. 17) que comprenden una superficie de 1'378,620 de las zonas costeras y oceánicas que forman parte de la zona económica exclusiva, 110 regiones hidrológicas (Fig. 19) en un área de 777,248 de las principales cuencas hidrológicas del país y 229 áreas de importancia para la conservación de aves (Fig. 21) con una cobertura de 309,655 . Para el caso del sistema Lagunar de Alvarado se presentan las siguientes regiones:



## Región Terrestre Prioritaria

### RTP 124 Humedales del Papaloapan

<b>A. UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>		
<b>Coordenadas extremas:</b>	Latitud N 18° 22' 30" a 18° 52' 41"	
	Longitud W 95° 32' 38" a 96° 04' 02"	
<b>Entidades</b>	Veracruz	
<b>Municipios</b>	Acuña, Alvarado, Ignacio de la Llave, Ixmiquilpan, Lerdo de Tejada, Tierra Blanca, Tlacotalpan	
<b>Localidades de referencia</b>	Cosamaloapan de Carpio, Ver.; Alvarado, Ver.; Lerdo de Tejada, Ver.; Carlos A. Carrillo, Ver.	
<b>B. SUPERFICIE</b>		
	958	
Valor para la conservación	2 (100 a 1,000 )	
<b>C. CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>		
	Se considera como región prioritaria porque representa un área de conectividad y de integración entre sistemas terrestres y de humedales. Dichos humedales (vegetación acuática, subacuática, manglares, cuerpos de agua y vegetación de dunas costeras) se encuentran bien conservados. Sin embargo, gran parte de las selvas altas y medianas se perdieron y solo permanecen pequeños fragmentos. Se considera que puede ser una región importante como corredor biológico pero el grado de fragmentación es alto.	
<b>D. ASPECTOS CLIMÁTICOS</b>		
		Tipo y % de Superficie
Tipo(s) de clima	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, precipitación media anual de 500 a 2,500 mm y precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano del 5% al 10.2% anual.  Templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación anual de 200 a 1,800 mm y precipitación en el mes más seco de 0 a 40 mm; lluvias de verano mayores al 10.2% anual.	Aw2 93%  C(w2)x' 7%
<b>E. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS</b>		
<b>Geoformas</b>	Marismas	
<b>Unidades de suelo y porcentaje de superficie (Clasificación FAO-Unesco, 1989):</b>	Vertisol éutrico VRe Suelo con una alta proporción de arcilla (más de 30%) al menos hasta 50 cm de profundidad; desarrolla fisuras de hasta un cm de ancho. El subtipo éutrico tiene un grado de saturación de 50% como mínimo, por lo menos en una profundidad comprendida entre 20 y 50 cm a partir de la superficie y carece de un horizonte cálcico (de concentración de carbonato de calcio) o gipsico (concentración de yeso).	100%
<b>F. ASPECTOS BIÓTICOS</b>		
		<b>Valor para la conservación</b>
<b>Diversidad Ecosistémica</b>	Incluye tanto sistemas terrestres (dunas, selvas medias, palmares) como humedales de varios tipos. Los principales tipos de vegetación y uso del suelo representados en esta región, así como su porcentaje de superficie son:	3 (alto)
Vegetación acuática	Cualquier tipo de vegetación que requiera del medio acuático para vivir.	32%
Manglar	Vegetación halófila densa dominada por mangles en zonas costeras, estuarinas y fangosas, siempre zonas	31%





	salobres. Pueden alcanzar los 25 m.	
Agricultura, pecuario y forestal	Actividad que hace uso de los recursos forestales y ganaderos, puede ser permanente o de temporal.	26%
Otros		11%
		<b>Valor para la conservación:</b>
<b>Integridad ecológica funcional:</b>	La alteración ecológica es considerable.	1 (muy bajo)
<b>Función como corredor biológico:</b>	No parece jugar un papel específico de zona de conexión, aunque en sí misma integra y conecta varios ecosistemas y es importante como sitio de aves acuáticas.	2 (medio)
<b>Fenómenos naturales extraordinarios:</b>	Aves migratorias.	2 (importante)
<b>Presencia de endemismos:</b>	La mayoría de especies de plantas, aves, mamíferos y reptiles conocidos son de amplia distribución.	1 (bajo)
<b>Riqueza específica:</b>	Aunque en la actualidad la riqueza es alta en grupos como aves acuáticas, anteriormente la zona de bosque tropical y humedales sostenían una riqueza relativamente alta de plantas, hoy en día lo remanente está notablemente deforestado y deformado.	1 (bajo)
<b>Función como centro de origen y diversificación natural:</b>	Información no disponible.	0 (no se conoce)
<b>G. ASPECTOS ANTROPOGÉNICOS</b>		
<b>Problemática ambiental:</b>	Los principales problemas detectados son la grave deforestación y fragmentación; la extracción intensa de recursos biológicos y la contaminación considerable de sistemas acuáticos.	<b>Valor para la conservación:</b>
<b>Función como centro de domesticación o mantenimiento de especies útiles:</b>	Información no disponible.	0 (no se conoce)
<b>Pérdida de superficie original:</b>	Destrucción considerable tanto de los humedales como de los sistemas terrestres.	3 (alto)
<b>Nivel de fragmentación de la región:</b>	Pocos fragmentos conservados, baja conectividad y su mayoría vegetación secundaria.	3 (alto)
<b>Cambios en la densidad poblacional:</b>	No se detecta cambio en los últimos diez años.	1 (estable)
<b>Presión sobre especies clave:</b>	Halcón peregrino, tortuga y <i>Charadrius melodus</i> (ave).	2 (medio)
<b>Concentración de especies en riesgo:</b>	Varias tortugas se encuentran claramente en riesgo.	3 (alto)
<b>Prácticas de manejo inadecuado:</b>	Explotación de recursos biológicos, principalmente animales asociados a los humedales, ríos y ambientes terrestres.	3 (alto)
<b>H. CONSERVACIÓN</b>		
<b>Proporción del área bajo algún tipo de manejo adecuado:</b>	Información no disponible.	0 (no se conoce)
<b>Importancia de los servicios ambientales:</b>	La principal importancia es su conectividad e interface con sistemas acuáticos y terrestres; control de la sedimentación y erosión; conservación de recursos de acuicultura y pesquería.	3 (alto)
<b>Presencia de grupos organizados:</b>	Universidad Autónoma Veracruzana; Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala-UNAM	1 (bajo)
<b>Políticas de conservación</b>	El grado de conocimiento para la región se considera regular.	



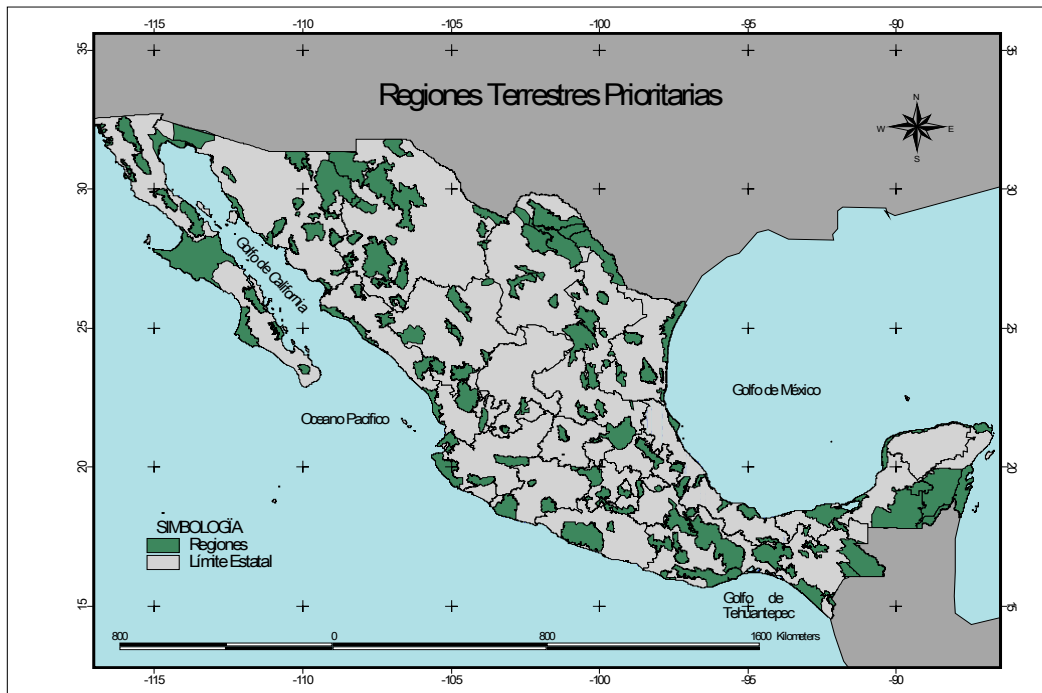


Fig. 15. Regiones Terrestres Prioritarias, México

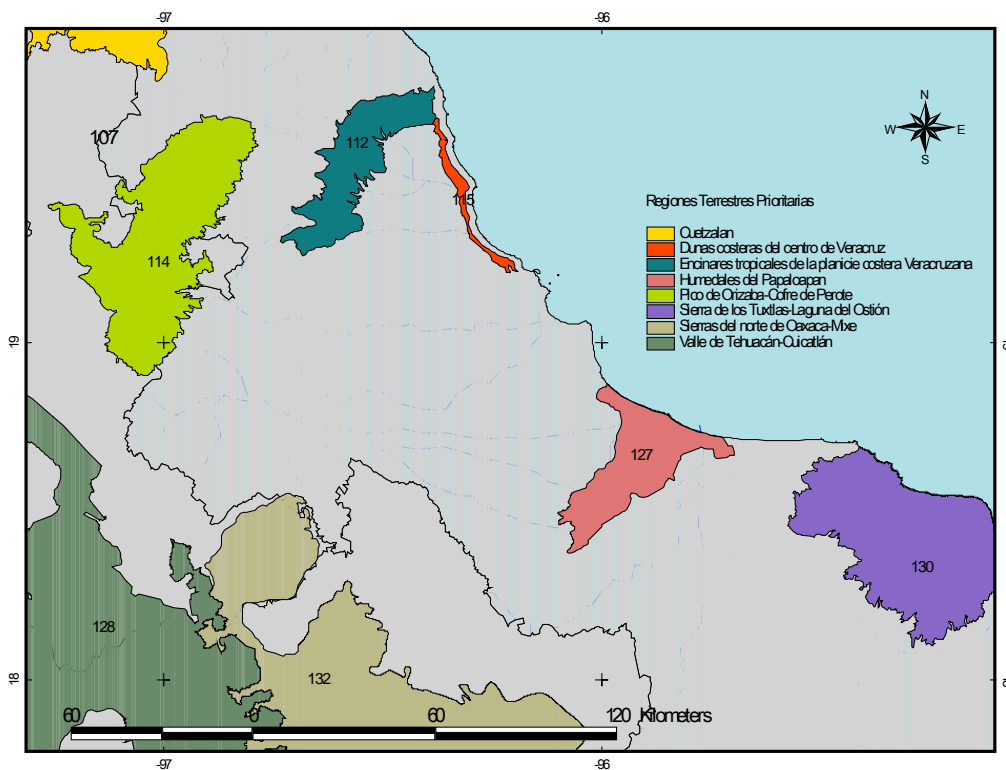


Fig. 16. RTP 124 Humedales del Papaloapan

**Regiones Marinas Prioritarias**



## 50. SISTEMA LAGUNAR ALVARADO

Esta regionalización incluye la identificación de sitios con un alto valor de biodiversidad en los ambientes marinos del país, para el caso del sistema de Alvarado Veracruz

<b>ESTADO</b>	Veracruz
<b>POLÍGONO</b>	Latitud. 19°11'24" a 18°17'24" Longitud. 96°04'12" a 95°22'12"
<b>EXTENSIÓN</b>	3,984
<b>CLIMA</b>	cálido subhúmedo con lluvias en verano (de 286-320 mm). Temperatura media anual de 22-26°C.
<b>GEOLOGÍA</b>	barrera física presente; forma y batimetría modificada por deltas lagunares y formación de sub-lagunas.
<b>DESCRIPCIÓN</b>	lagunas, pantanos, ríos, zona oceánica, marismas, esteros, dunas costeras. Área de filtración por humedales. Alto drenaje de agua hacia el Golfo.
<b>OCEANOGRAFÍA</b>	flujo del río Papaloapan; salinidad usualmente con gradientes de oligo a mesohalinos; marea diurna, poco oleaje.
<b>BIODIVERSIDAD</b>	Riqueza en equinodermos, moluscos, poliquetos, crustáceos, peces, tortugas, aves, mamíferos marinos, manglares, tulares, carrizales y popales. Endemismo de peces, crustáceos, moluscos y fanerógamas. Muchos peces usan las lagunas para reproducción, y existe migración de camarones. Procesos de eutroficación por <i>Typha domingensis</i> y conservación de humedales por <i>Sagitta</i> sp., ambos invertebrados.
<b>ASPECTOS ECONÓMICOS</b>	Pesca cooperativa de camarón, robalo y jaiba. Poco turismo.
<b>PROBLEMÁTICA</b>	Modificación del entorno: tala de manglar. Incremento de la erosión y acarreo de sedimentos. Daño al ambiente por embarcaciones pesqueras.  Contaminación: por desechos sólidos, agroquímicos y fertilizantes, contaminantes industriales y de ingenios azucareros.  Uso de recursos: presión del sector pesquero sobre el camarón y el robalo.  Regulación: pesca intensiva no controlada; uso de artes de pesca prohibidos.  Especies introducidas: tilapia.
<b>CONSERVACIÓN</b>	Existen proyectos para canalizar agua y controlar inundaciones (hace falta un estudio cuidadoso). A pesar de haber sido alterado el ambiente hace muchos años, actualmente se considera "estable". El área de Alvarado debe ser protegida incluyendo las zonas pantanosas adyacentes (laguna Tlalixcoyán y río Papaloapan). Las filtraciones de agua son importantes (protección de la costa).
<b>GRUPOS INSTITUCIONALES</b>	UAMI, CET-Mar, IdeE, A.C., Universidad Veracruzana, ENEP-I.



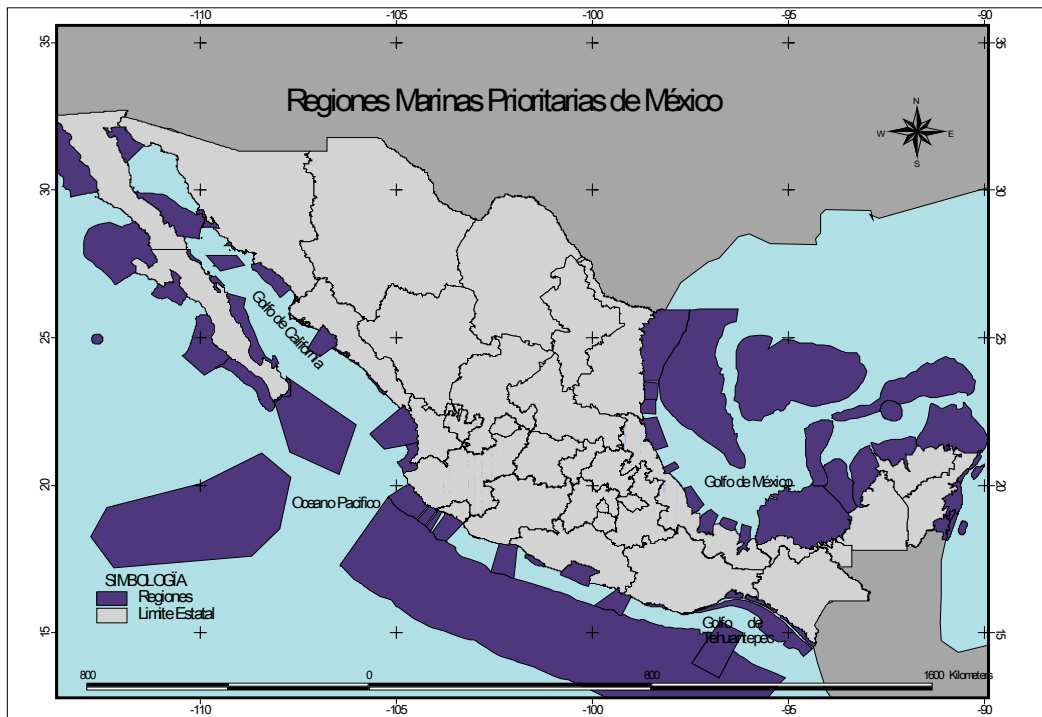


Fig. 17 Regiones Marinas Prioritarias, México

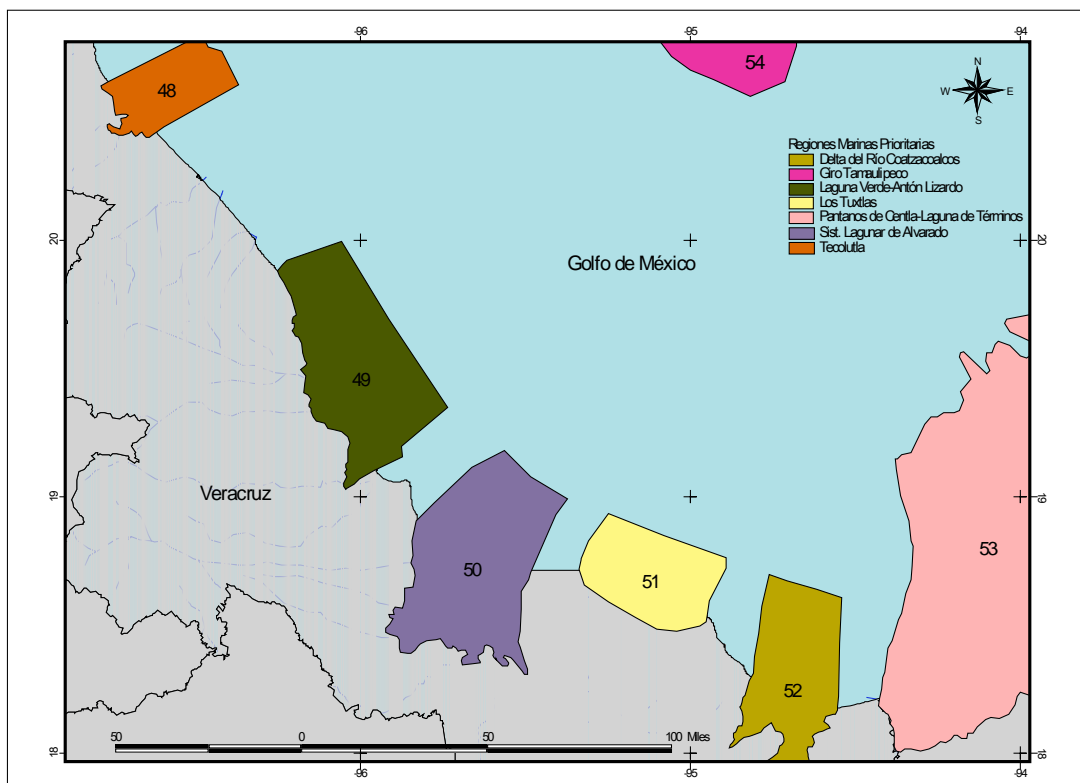


Fig. 18. RMP 50 Sistema Lagunar Alvarado



## Regiones Hidrológicas Prioritarias

### 79. HUMEDALES DEL PAPALOAPAN

<b>ESTADO</b>	Veracruz
<b>EXTENSION</b>	8,186.98
<b>RECURSOS HÍDRICOS PRINCIPALES</b>	
Lénticos	Laguna de Alvarado, Buen País y Camaronera
Lóticos	Sistema Papaloapan (Ríos Papaloapan, San Juan Evangelista, San Vicente, San Agustín y Blanco).
<b>LIMNOLOGÍA BÁSICA</b>	Gasto de 39,175
<b>GEOLOGÍA/EDAFOLOGÍA</b>	Suelo profundo, rico en materia orgánica y muy fértil de tipo Vertisol y Feozem; en las áreas inundables un suelo alcalino Gleysol, Regosol y Cambisol.
<b>CARACTERÍSTICAS VARIAS</b>	Cálido húmedo con lluvias en verano y principios de otoño y cálido húmedo con lluvias todo el año. Temperatura media anual de 24-28 . Precipitación total anual de 1 200-2 500 mm.
<b>PRINCIPALES POBLADOS</b>	Tlacotalpan, Cosamaloapan, San Nicolás, Carlos A. Carrillo, Amatitlán.
<b>ACTIVIDAD ECONÓMICA PRINCIPAL</b>	Ganadería, agricultura y pesca.
<b>INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA</b>	No Determinados
<b>BIODIVERSIDAD</b>	
Tipos de vegetación:	Sabana, manglar, popal, tular, palmar, selva baja perennifolia inundable, matorral espinoso inundable, vegetación acuática, pastizal cultivado y natural. Varias comunidades acuáticas de hidrófitas emergentes, palmares (palma de agua) y tasitales (palmar bajo inundable).
Alta diversidad de hábitats acuáticos:	Ríos, meandros, humedales, lagunas y pantanos. Alta producción primaria y secundaria.
Flora característica:	Manglares de <i>Avicennia germinans</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>A. sphaerocephala</i> , <i>Acoelorrhapha wrightii</i> , <i>Acrocomia mexicana</i> , <i>Annona glabra</i> , <i>Brosimum alicastrum</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Calophyllum antillanum</i> , <i>Calyptanthus millspaughii</i> , <i>C. perlaevigata</i> , <i>Cephalanthus occidentalis</i> , <i>Maclura tinctoria</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i> , <i>Coccoloba barbadensis</i> , <i>Dalbergia brownei</i> , <i>Diospyros digyna</i> , <i>D. verae-crucis</i> , <i>Ficus cotinifolia</i> , <i>F. padifolia</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Lonchocarpus heptaphyllus</i> , <i>Nectandra coriacea</i> , <i>Pithecellobium dulce</i> , <i>Randia aculeata</i> .
Fauna característica:	Peces <i>Arius melanopus</i> , <i>Astyanax fasciatus</i> , <i>Atherinella sallei</i> , <i>Belonesox belizanus</i> , <i>Cathorops aguadulce</i> , <i>Centropomus parallelus</i> , <i>Cichlasoma aureum</i> , <i>C. nebuliferum</i> , <i>C. salvini</i> , <i>Dormitator maculatus</i> , <i>Dorosoma anale</i> , <i>Eleotris pisonis</i> , <i>Gambusia rachowi</i> , <i>Gobiomorus dormitor</i> , <i>Guavina guavina</i> , <i>Hyphessobrycon compressus</i> , <i>Ictalurus australis</i> , <i>Ictiobus bubalus</i> , <i>I. meridionalis</i> , <i>Ophisternon aenigmaticum</i> , <i>Rivulus tenuis</i> , <i>Sicydium gymnogaster</i> , <i>Strongylura hubbsi</i> Aves <i>Anas acuta</i> , <i>Busarellus nigricollis</i> , <i>Buteogallus anthracinus</i> , <i>B. urubitinga</i> , <i>Pelecanus erythrorhynchus</i> , <i>P. occidentalis</i> , <i>Rostrhamus sociabilis</i> , <i>Tyrannus forficatus</i> , <i>T. tyrannus</i> , <i>Zenaida asiatica clara</i> . Endemismo del crustáceo <i>Lobithelphusa mexicana</i> ; de peces <i>Atherinella lisa</i> , <i>A. marvelae</i> , <i>A. sallei</i> , <i>Cichlasoma bulleri</i> , <i>C. ellioti</i> , <i>Heterandria</i> sp., <i>Notropis moralesi</i> , <i>Rivulus robustus</i> ; de reptiles las tortugas acuáticas; de aves <i>Aimophila notosticta</i> , <i>Cyanolyca nana</i> , <i>Hylorchilus sumichrasti</i> . Especies amenazadas de peces <i>Agonostomus monticola</i> , <i>Priapella bonita</i> ; de reptiles <i>Claudius angustatus</i> , <i>Dermatemys mawii</i> (indicadora de aguas claras), <i>Kinosternon acutum</i> y <i>Staurotypus triporcatus</i> por pesca inmoderada; de aves <i>Amazona oratrix</i> , <i>Cathartes burrovianus</i> , <i>Charadrius melodus</i> , <i>Cyanolyca nana</i> , <i>Dendroica chrysoparia</i> , <i>Electron carinatum</i> , <i>Falco peregrinus</i> , <i>Ixobrychus exilis</i> , <i>Rostrhamus sociabilis</i> .
Especies indicadoras:	<i>Mimosa pigra</i> (indicadora de alteración).



<b>ASPECTOS ECONÓMICOS</b>	Pesquerías de langostinos <i>Macrobrachium acanthurus</i> , <i>M. carcinus</i> ; industria azucarera y papelera, producción de miel y agropecuaria. Recursos energéticos: petróleo.
<b>PROBLEMÁTICA</b>	Modificación del entorno: construcción de carreteras, relleno de áreas inundables y modificación de la vegetación por actividades agrícolas (cultivo de caña). Contaminación: por actividad petrolera y desechos de la industria azucarera (ingenio San Cristóbal) y papelera, desechos industriales y urbanos. Uso de recursos: violación de vedas y tallas mínimas. Uso de suelo agrícola y ganadero.
<b>CONSERVACIÓN</b>	Se requiere tratar los efluentes de ingenios, vigilar las actividades agrícolas, sobre todo con respecto a la desecación de áreas inundables. Falta conocimiento de la diversidad en el área de humedales y ambientes lóticos.
<b>GRUPOS E INSTITUCIONES</b>	Universidad Veracruzana; Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Instituto de Biología, Fac. de Ciencias, UNAM; Escuela Nacional de Estudios Profesionales - Iztacala; Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa; Instituto de Ecología, A.C. – Xalapa.

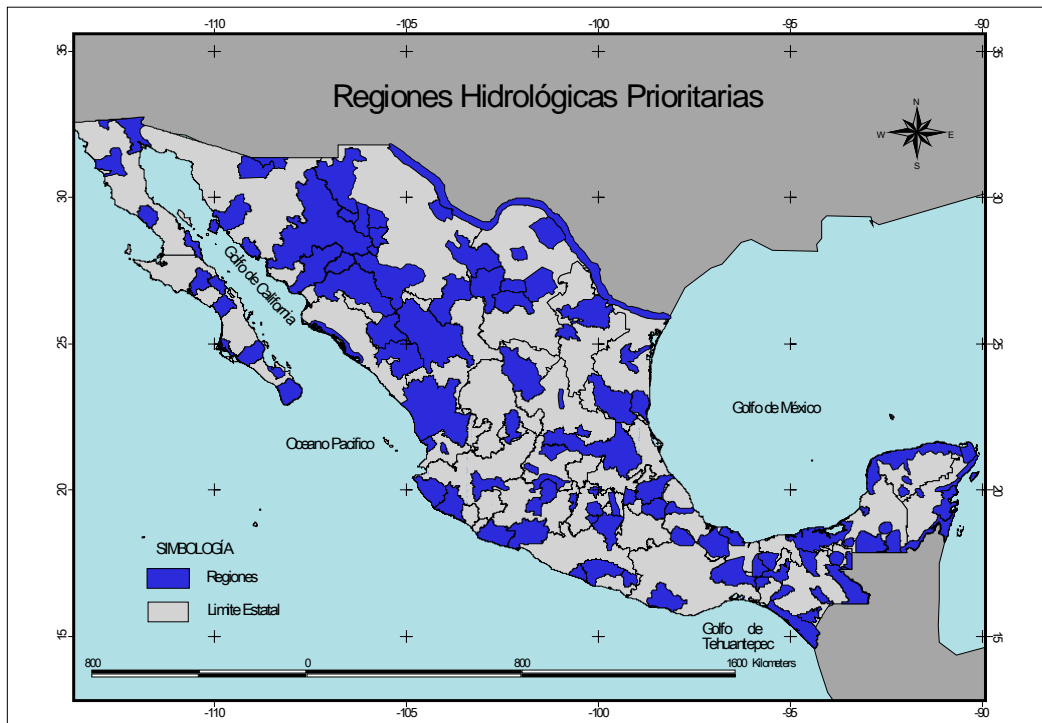


Fig. 19. Regiones Hidrológicas Prioritarias, México



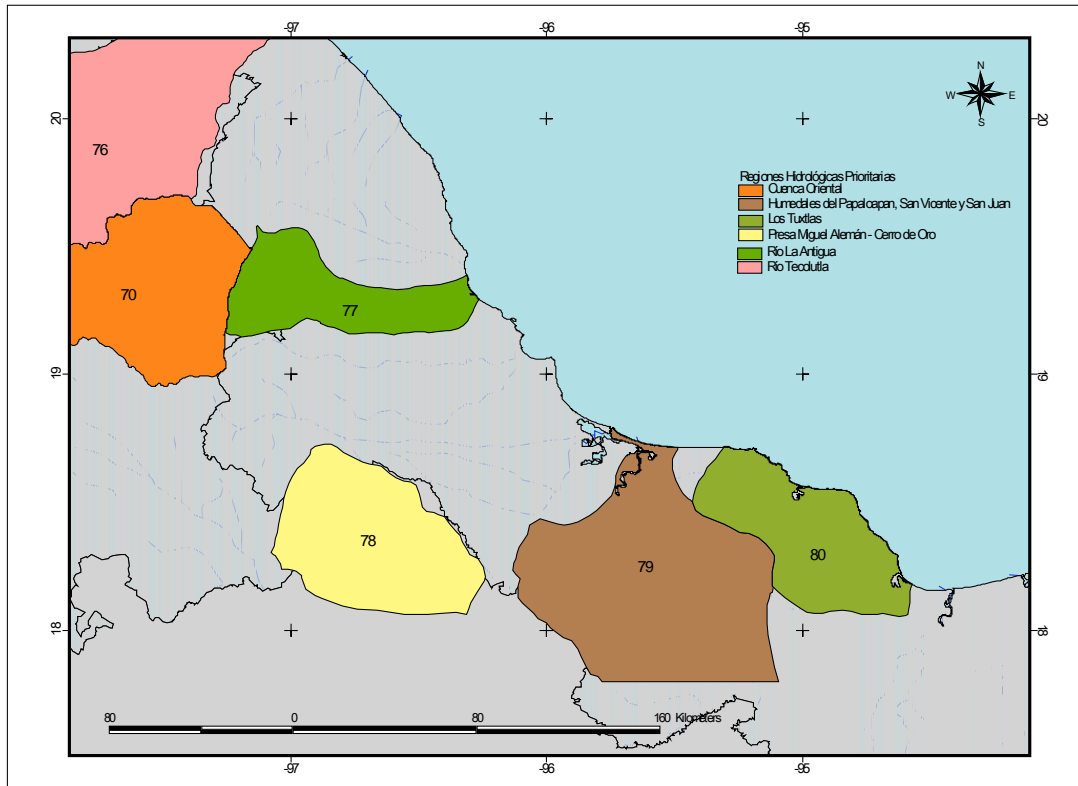


Fig. 20. RHP 79 Humedales del Papaloapan

## Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA)

### Humedales de Alvarado Clave de la AICA C-50

Esta regionalización, a diferencia de las anteriores, fue convocada por asociaciones científicas de ornitólogos, el de las Aves establecido en 1996, han promovido la formación en todo el mundo de una red de sitios importantes para el mantenimiento a largo plazo de poblaciones de aves (Fig. 21).



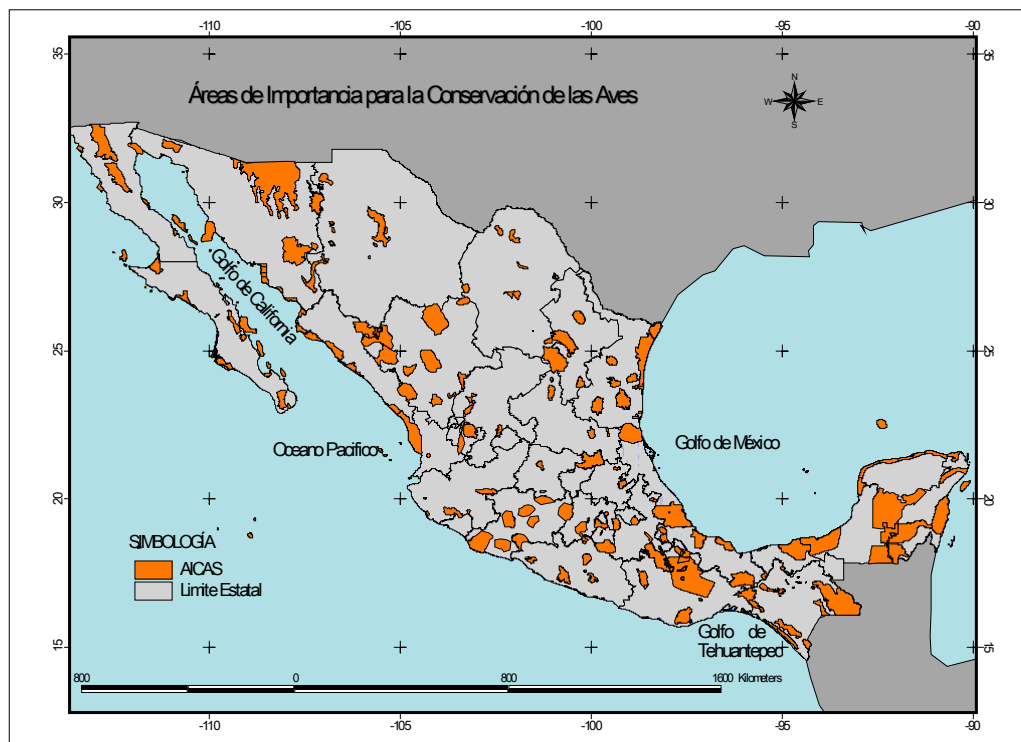


Fig. 21. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA), México

<b>ESTADO</b>	Veracruz
<b>SUPERFICIE</b>	208,815.94
<b>PLAN DE MANEJO</b>	No
<b>TENENCIA DE LA TIERRA</b>	EJIDAL FEDERAL
<b>USO DE LA TIERRA Y COBERTURA</b>	Cálido húmedo con lluvias en verano y principios de otoño y cálido húmedo con lluvias todo el año. Temperatura media anual de 24-28 . Precipitación total anual de 1 200-2 500 mm.
1. Pesca	Camarón, robalo, ostión, nacas, almeja.
2. Ganadería	Bovinos
3. Agricultura	Temporal, piña, maíz, caña.
4. Areas urbanas	Puerto de Alvarado, comercializa pesca.
5. Forestal	Explotación de manglar.
6. Industria	En los afluentes azucareras y tenerías.
<b>AMENAZAS</b>	1 DEFORESTACIÓN 2 GANADERÍA 3 AGRICULTURA 4 DESARROLLO INDUSTRIAL 5 DESARROLLO URBANO 6 INTRODUCCIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Es un sistema de lagunas que presenta dunas con manchones de matorral espinoso, selva baja caducifolia y selva mediana subperennifolia. En las riberas lagunares se presentan manglares, tiales y popales así como pastizales inundables.
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	La zona presenta un alta diversidad avifaunística con especies amenazadas a los diferentes niveles. Es además una zona de congregación de especies acuáticas. Zona de reproducción de rapaces





	como <i>Rostramus sociabilis</i> , <i>Buteogallus anthracinus</i> , <i>B. urobitinga</i> , <i>Busarellus nigricollis</i> . De otros vertebrados es sitio de distribución de manatí, nutria, zona de reproducción de tortugas dulceacuícolas como <i>Dermatemys maweei</i> .
<b>VEGETACIÓN</b>	Manglares, popales y tifales en las zonas ribereñas y estuarinas. Dunas, bosque tropical caducifolio y subcaducifolio y matorral espinoso hacia tierra adentro.
<b>CATEGORÍAS A LAS QUE APLICA</b>	MEX-1 <i>Falco peregrinus</i> , <i>Charadrius melodus</i> , <i>Amazona autumnalis</i> , <i>Panyptila cayennensis</i> , <i>Botaurus pinatus</i> , <i>Cathartes burrovianus</i> , <i>Ixobrychus exilis</i> , <i>Rostramus sociabilis</i> , <i>Burhinus bistriatus</i> MEX-4-A <i>Anas acuta</i> (+ de 2000), <i>Pelecanus erythrorhynchus</i> (+ de 1500), <i>Pelecanus occidentalis</i> (+de 200), <i>Zenaida asiatica</i> (+ de 800). NA-4-D <i>Tyrannus forficatus</i> , <i>Tyrannus tyrannus</i> .
<b>RIQUEZA</b>	346 especies registradas

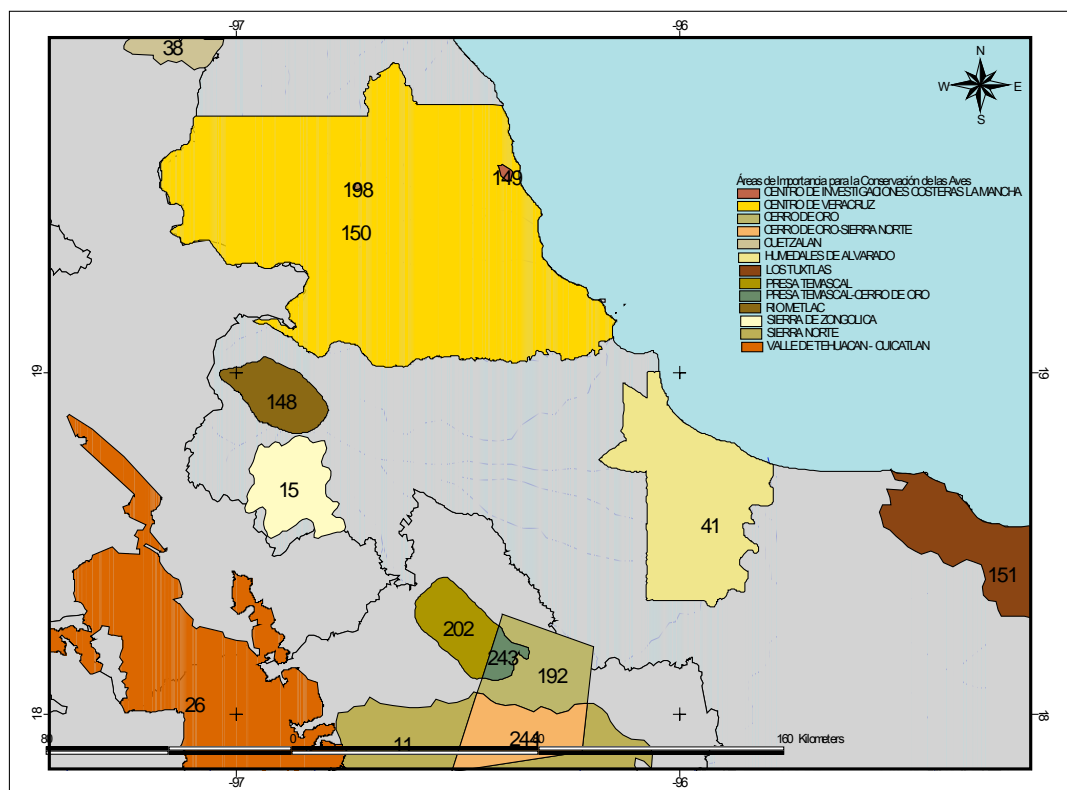


Fig. 22. RHP 79 Humedales de Alvarado Clave de la AICA C-50.

## h. Humedales RAMSAR

México, como país miembro de la Convención de Ramsar desde agosto de 1986, reconoce la importancia de las funciones ecológicas de los humedales y del recurso hídrico, por lo que planteó la necesidad de integrar, a nivel cuenca, el manejo de los recursos hídricos y la conservación de los humedales mediante una serie de acciones



para resolver los problemas de escasez y deterioro de la calidad de agua y la consiguiente pérdida de los ecosistemas y su diversidad biológica (Ramsar 1971).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), que funge como punto focal de la Convención en México, tiene inscritos en el Convenio de Ramsar 82 humedales que cubren alrededor de 5'929,607 ha y comprenden ecosistemas acuáticos costeros como lagunas, marisma, playas, deltas, manglares y corales. Asimismo, aguas epicontinentales como lagos, lagunas, presas, ríos, pantanos, ciénegas, charcas y oasis (Ramsar 2008). Entre los humedales prioritarios destaca la laguna de Alvarado, Veracruz. Estos humedales prioritarios coinciden con las regionalizaciones marina e hidrológica presentadas con anterioridad (Fig. 23).

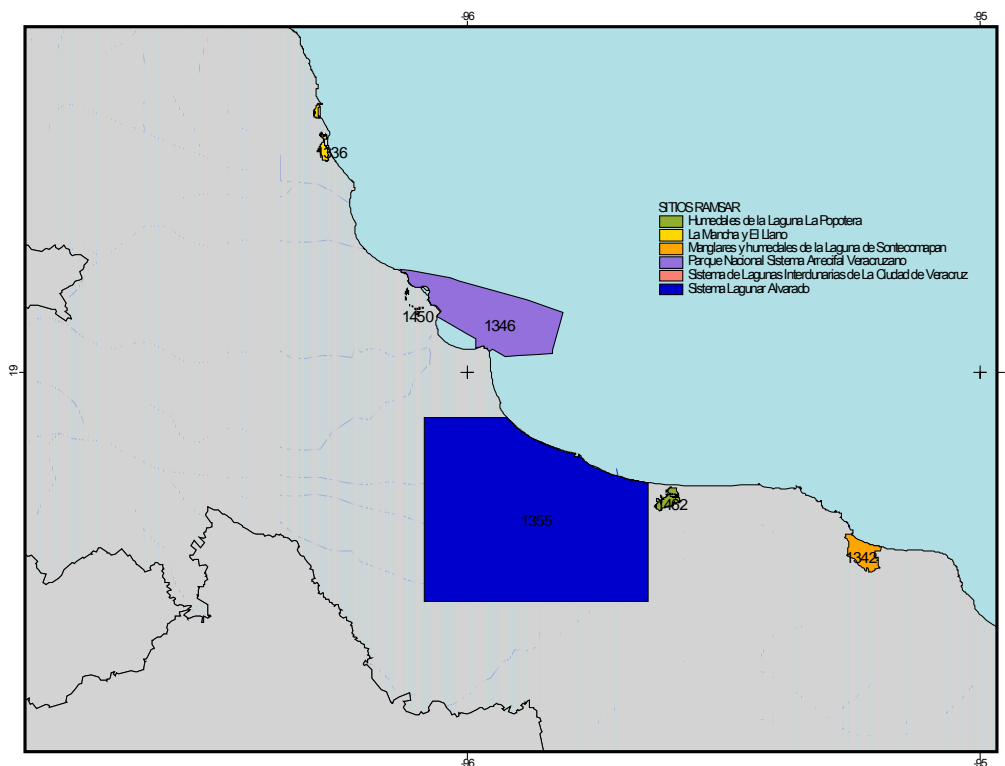


Fig. 23. Sitio RAMSAR, Sistema Lagunar de Alvarado, Ver.



---

## CONCLUSIÓN

El posgrado de Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos fue, en primera instancia, una oportunidad de extender y profundizar los conocimientos acerca de la zona costera, a través de asignaturas que abordaban desde diferentes perspectivas los procesos ecológicos, dinámica hidrológica, características del manejo pesquero y por supuesto, su relación con los procesos evolutivos de la zona y su biota. De esta forma, el posgrado permitió dos cosas: ampliar y profundizar en conocimientos, y proporcionar herramientas de análisis para el desarrollo de investigación y docencia dentro de la universidad como una vertiente natural del profesional de la biología.

Otra de las vertientes del posgrado se relaciona con el desarrollo de habilidades y competencias profesionalizantes para la resolución de problemas. Ciertamente el posgrado no parece tener esta visión profesionalizante en principio, ya que desde la perspectiva académica, el único fin es el de obtener un grado académico para reforzar la carrera como docente e investigador dentro de la universidad, sin embargo, cuando se analiza el posgrado desde el punto de vista de resolución de problemas a través de servicios profesionales, la perspectiva cambia cuando se integran las asignaturas y no se les ve por separado. Un ejemplo de ello es la práctica profesional en el ámbito de la consultoría ambiental en desarrollos costeros, esto implica el manejo de información variada de zonas costeras y su relación con el ordenamiento ecológico, gestión de recursos, evaluación de impacto ambiental y restauración a través de medidas de mitigación, todo ello abordado de manera directa o indirecta en las asignaturas obligatorias y optativas de la maestría, todo lo cual permite generar escenarios y recomendaciones para la planificación y sustentabilidad de proyectos productivos. Es así que, el ejercicio profesional se ve reforzado con los conocimientos y experiencias adquiridas en el posgrado a través de los Trabajos de Investigación (cuatro niveles) ejecutados a lo largo de la maestría los cuales conllevan el planteamiento del problema, planificación, recopilación, gestión y síntesis de información, trabajo multidisciplinario, generación de resultados y análisis de los mismos, lo que se ve reflejado en el campo profesional a través del análisis y síntesis de información existente acerca de un proyecto específico, la organización y planificación de los programas de trabajo a realizar.



---

El ambiente de discusión de ideas, análisis de artículos, teorías, hipótesis y posturas que se vive en el posgrado permite tener una visión integral y desarrollar a tope las capacidades de comunicación oral, a través de la exposición de seminarios, y escrita, por medio del desarrollo de ensayos científicos. A su vez, este ambiente permite valorar el trabajo en equipo y desarrollar habilidades de relaciones interpersonales, a través de la creatividad y razonamiento crítico.

Uno de los puntos que en su momento no tuvo mayor profundidad en el posgrado fue todo lo relacionado a la gestión ambiental y la integración de la información para el manejo de algún área en particular, esto no quiere decir que no se contemplara en alguna de las asignaturas obligatorias u optativas, es solo que no existía en aquel tiempo una integración tácita a lo largo del posgrado; pero ello en vez de reflejar una deficiencia en el programa del posgrado, se convierte en una oportunidad para desarrollar la habilidad de aprendizaje autónomo e integración de grandes bloques de información para poder proyectar escenarios y generar información precisa para una mejor toma de decisiones.

Un ejemplo de ello es el análisis que se presenta con el sistema lagunar de Alvarado Veracruz, en donde, además de presentarse el resultado de una investigación, se recopiló la información existente como parte de un ejercicio de integración de instrumentos de gestión ambiental. Esto tiene dos razones en principio, la primera radica en la importancia biológica del sistema y sus interacciones con las actividades productivas de la región, sobretodo la pesca del camarón en la zona costera adyacente. La segunda razón se basa en el desarrollo urbano y turístico que se esta llevando en la zona norte del municipio, y en donde no están del todo claro el plan de desarrollo urbano o el ordenamiento de la zona, lo cual tarde o temprano repercutirá en los diferentes componentes biológicos del sistema y en la economía de la región, todo ello como consecuencia del cambio acelerado del uso del suelo en la cuenca, lo que ha limitado la posibilidad de definir áreas prioritarias, con pleno conocimiento de su biodiversidad donde los inventarios biológicos hayan sido exhaustivos y donde el conocimiento de los procesos ecológicos sea amplio y profundo, para elegir de manera inequívoca aquellas áreas que presentan la mayor acumulación de especies con una alta integridad ecológica funcional en los distintos niveles de análisis de la biodiversidad (genético, poblacional y ecosistémico).



Ante la escasez de financiamiento, de conocimiento y de tiempo para actuar, se espera que este tipo de ejercicios de planeación influyan como instrumentos de política pública para la gestión de la cuenca, cada uno en su ámbito temático, de manera que induzcan activamente proyectos concretos de conservación y manejo sustentable de los recursos naturales del sistema lagunar de Alvarado, que bien pudiera ser declarado como área natural protegida. Para ello, una de las formas que se propone para el manejo costero es a través del criterio de cuenca en la gestión costera para su integración. Tomando en cuenta que el agua, en el contexto de funcionamiento de una cuenca hidrológica, es el elemento integrador de los procesos ecológicos regionales. Los límites fisiográficos de las cuencas constituyen los límites ecológicos naturales. Los ciclos biogeoquímicos, el flujo de energía, el transporte y almacenamiento de nutrientes y la dinámica ecológica de poblaciones por medio de gradientes altitudinales, paisajísticos y ambientales son procesos que pueden vincular el manejo de bosques en las montañas con los centros urbanos y agrícolas en la planicie y, estos a su vez, con los esteros y demás ecosistemas costeros que son la base de las pesquerías comerciales y de gran parte de la diversidad biológica marina. Los procesos en la parte alta de la cuenca del Papaloapan, dado el flujo unidireccional del agua, invariablemente presenta repercusiones en su parte baja, en el sistema lagunar de Alvarado, por tanto toda la cuenca se puede administrar como una sola unidad. Los bosques en las cabeceras de las cuencas cubren una importante función reguladora ya que controlan la calidad, cantidad y temporalidad del flujo del agua y también protegen los suelos de ser arrastrados por el agua, con la consecuente sedimentación y degradación de los ríos y esteros y la pérdida de la fertilidad en las laderas. A su vez, los ríos son indicadores ecológicos de la salud e integridad biótica de la cuenca en todo su conjunto. Tomando en cuenta la visión de cuenca para el manejo costero permitirá integrar los aspectos sociales con los ecológicos, ya que los ríos también constituyen tradicionalmente fronteras entre países, estados, municipios y hasta ejidos y propiedad privada. Por estas razones, las cuencas tienen características ecológicas y sociopolíticas que les confieren ventajas, como la unidad geográfica para la planificación del uso de suelo y los recursos naturales.

La investigación que aquí se presenta puede ser parte de la instrumentación de un programa de protección del sistema lagunar y su cuenca de influencia, ya que como se documenta solo existe información fraccionada y declaratoria de áreas de manera desarticulada. La integración de datos hidrológicos define patrones de comportamiento



espacial y temporal del sistema, y evidencian la alta heterogeneidad de ambiental que se presenta a lo largo de la laguna. Esta variación es el resultado de la influencia de la cuenca, a través de las descargas de los ríos, el intercambio mareal y el efecto de las temporadas climáticas. En adición, la variabilidad ambiental repercute en la variedad de hábitats la cual esta relacionada con la presencia de vegetación sumergida y mangle. Se pueden definir zonas de protección, aquellas cercanas a las desembocaduras de los ríos con presencia de bosques de mangle en buen estado de conservación; zona de explotación de recursos, que corresponde a la parte central del cuerpo lagunar y las inmediaciones de la laguna Camaronera y Buen País; y la zona de amortiguamiento representada por las áreas influenciadas por el desarrollo urbano del puerto de Alvarado. El sistema lagunar de Alvarado es uno de los ecosistemas más estudiados en México desde diferentes perspectivas y diferentes instituciones, lo cual tendrá que repercutir en un plan de manejo integral, que beneficie a la economía de la región y que genere impactos mínimos al ambiente.



## IX. Referencias

- Anta, F.S. y Rosas. 1992. Los espacios rurales de la Región de Tuxtepec, Oaxaca: una propuesta de regionalización. In: F.S. Anta (Coord.) *Ecología y manejo integral de la Región de la Chinantla*. Facultad de Ciencias. PAIR UNAM. Fundación Fiederich Ebert. México pp 65-104.
- Antoine, J.W. 1972. Structure of the Gulf of México. In: Rezak (Ed.) *Contributions on the ecological and geophysicaloceanography of the Gulf of Mexico*. Gulf. Publ. Co. Texas, USA:1-34.
- Barbier, E.B. 2002. Institutional constraints and deforestation: An application to Mexico. *Economic Inquiry* 40 : 508-519.
- Bassols, A. 1987. *Geografía económica de México*. Editorial Trillas, México.
- Blaber, S.J.M. 2002. Fish in hot water: The challenges Facing fish and fisheries research in tropical estuarios. *Journal of Fish and Biology* 61 (Supplement A): 1-20.
- Bocco, G. y M. A. Ortiz. 1994. Definición de unidades espaciales para el ordenamiento ecológico. *Jaina* 5(1): 8-9.
- Caldow, R. W. G. y P. A. Racey. 2000. Large-scale processes in ecology and hydrology. *Journal of Applied Ecology* 37(1):6-12.
- Carranza-Edwards, A.; M. Gutiérrez-Estrada y R. Rodríguez-Torres. 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centro Cienc. Mar y Limnol.* 2(1): 1-130. UNAM. México.
- CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1998. *Regiones Hidrológicas Prioritarias*, p. 101–103.
- Contreras, E.F. 1985. *Lagunas costeras mexicanas*. UAM Iztapalapa-CECODES. 275 pp.
- Contreras, E.F. 1985. *Lagunas Costeras Mexicanas*; Centro de Ecodesarrollo, Secretaria de Pesca. México D.F., 253 p.
- Contreras-Espinosa F., B.G. Warner. 2004. Ecosystem characteristics and Management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiología*. 511:233-245.
- Chávez López R. y J. Franco López. 1992. Respuesta de una comunidad de peces ante un impacto ambiental en Boca Camaronera, Alvarado, Veracruz. *Hidrobiológica*. Vol. 2, número 1-2. UAM Iztapalapa. pp.25-33.
- Chávez López R., J. Franco, A. Morán-Silva y M.T.O'Connell. 2005. Long-term fish assemblage dynamics of the Alvarado lagoon estuary, Veracruz, Mexico. *Gulf and Caribbean Research*. Vol. 17, 145-156.
- Díaz de León, A., G. Alcántar, P. Álvarez, L. Gutiérrez, D. Pedroza, S. Cortina, M. Ibáñez y G. Brachet, 2004. Valoración, uso y perspectivas de la biodiversidad marina: compartiendo experiencias entre México y Latinoamérica. Seminario internacional valoración, uso y perspectivas de la biodiversidad marina: Hacia adónde va Chile, 1° de diciembre de 2004, Santiago de Chile.
- De-Sucre, M., A. E. Ramírez, D. E. Varona. 1996. Visión general de la avifauna del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Revista Zoológica*, número especial: (2): 82-100.
- Escalante, P., A.G. Navarro y A.T. Peterson. 1992. Cap. 8 A geographic, ecological and historical análisis of land bird diversity in Mexico. In Ramamoorthy, T.P. et. Al. (Eds.) *Biological diversity of México: origins and distributions*. Oxford University Press. New York, USA.
- ETC-TE (European Tropic Center on Terrestrial Environment), 2003. *Measuring sustainable development on the coast*. Report to the European Union Integrated Coastal Zone Management Expert Group by the Working Group on Indicators and Data under the lead of ETC-TE.
- García, A.M., J.P. Vieira, and K.O. Winemiller. 2001. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. *Journal of Fish Biology* 59:1218–1238.
- García, E. 1973 *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Inst. Geofis. UNAM. 246 p.
- Gómez-Pompa, A., L. Hernández y M. Sousa-Sánchez. 1964. Estudio ficoecológico de la cuenca intermedia del Río Papaloapan. *Pub. Esp. Inst. Nac. Inv. For. Méx.* No. 3:37-90.
- Gulf Mexico Fishery Management Council. 1981. *Fishery management plan for the shrimp fishery of the Gulf of Mexico*. United States Waters.
- Hannah, L., G.F. Midgley, T. Lovejoy, W.J. Bond, M. Bush et al. 2002. Conservation of biodiversity in a changing climate. *Conservation Biology* 16 : 264-268.
- Hayden, B. P., G. C. Ray y R. Dolan. 1984. Classification of coastal and marine environments. *Environmental Conservation* 11(3): 199-207.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1977. *Agroecosistemas de México*. Colegio de Posgraduados. ENA. México.



- INE-SEMARNAP 2000 (El ordenamiento ecológico del territorio: logros y retos del desarrollo sustentable 1995-2000 INE. Dir. Gral. De Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental. 174 p.
- INEGI 2001. Portal de Internet del INEGI <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/extterri/frontera.cfm?c=154>.
- INEGI-INE 2000. Indicadores de desarrollo sustentable en México. INEGI-INE, México.
- Inman, J.R. (1976). Resistivity inversion with ridge regression. *Geophysics*, 40: 798-817.
- Karr, J. R. 1994. Biological monitoring: challenges for the future. En: S. L. Loeb, y A. Spacie (eds.). *Biological monitoring of aquatic systems*. Lewis Publishers, Boca Ratón. pp. 357-373.
- Kupschus, S. and D. Tremain. 2001. Associations between fish assemblages and environmental factors in nearshore habitats of a subtropical estuary. *Journal of Fish Biology* 58:1383-1403.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoon of Mexico. Their origin and classification. In: Wiley, M. (ed.). *Estuarine Process*. Academic Press Inc. 182-215.
- Loeb, S. L. y A. Spacie. 1994. *Biological Monitoring of Aquatic Systems*. Lewis Publishers, Boca Ratón.
- Caldwell, R. W. G. y P. A. Racey. 2000. Large-scale processes in ecology and hydrology. *Journal of Applied Ecology* 37(1):6-12.
- López-Paniagua, J. Y L.G. Urbán. 1992. Ordenamiento Ecogeográfico de una zona cálida-húmeda: la región de Tuxtepec, Oaxaca. En: Anta F.S. (Coord.) *Ecología y manejo integral de de la Región de la Chinantla*. Facultad de Ciencias. PAIR UNAM. Fundación Fiederich Ebert. México pp 17-64.
- Lugo, A.E. 2008. Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: An international review. *Austral Ecology* 33 : 368-398.
- Lugo-Hubp, J. Córdova y C. Fernández-Arteaga. 1990. *Geomorfología Marina*. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:400,000. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Martínez, M.F. y H.J. Escárpita. 1977. Recursos y aprovechamientos forestales. En: L.J. Tamayo y E. Beltrán (Coord.) *Recursos naturales de la Cuenca del Papaloapan*. Inst. Mexicano de Recursos Naturales Renovables. Tomo II Cap. XII. Pp 553-607.
- Mas, J.A., A. Velázquez, J. Reyes Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara et al. 2004. Assessing land use/cover changes: A nationwide multidecade spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5 : 249-261.
- Miranda, F. y E. Hernández-Xolocotzi. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Biol. Soc. Bot. de México*. 28:29-179.
- Mol, J.H., D. Resida, J.S. Ramlal, and C.R. Becker. 2000. Effects of El Niño-related drought on freshwater and brackish-water fishes in Suriname, South America. *Environmental Biology of Fishes* 59:429-440.
- Morán-Silva, A., J. Franco-López, R. Chávez-López, A.T. Altamirano, and M.A. De Sucre. 1996. Aspectos generales del comportamiento hidrológico del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Revista de Zoología, Numero Especial* 2:1-16.
- Morán-Silva, A., L. A. Martínez Franco, R. Chávez-López, J. Franco-López, C. M. Bedia- Sánchez, F. Contreras Espinosa, F. Gutiérrez Mendieta, N. J. Brown-Peterson y M. S. Peterson. 2005. Seasonal and spatial patterns in salinity, nutrients, and chlorophyll a in the Alvarado lagoonal system, Veracruz, Mexico. *Gulf and Caribbean Research* 17: 133-143.
- Moreno Casasola P. *Manejo Costero en México*; Instituto de Ecología A.C. México; 2004 p. 1-18
- Mu, L. 2004. Polygon characterization with the multiplicatively weighted Voronoi diagram. *The Professional Geographer* 56 : 223-239.
- Navarro, S.G.A. y D.H. Benítez. 1993. Patrones de riqueza y endemismo de las aves. Pp 45-54. In: Flores-Villela, O. y S.G.A. Navarro (compiladores). *Biología y problemática de los vertebrados en México*. Ciencias, No. 7.
- Pequegnat, W. E. y L. II. Contributions on the Biology of the Gulf of Mexico. Station list of benthic and midwater samples taken by R/V Alaminos 1964-1969. In: Pequegnat, W. E. and F. A. Chace, Jr. (Eds.). *Gulf Publishing Co. Texas USA 1970*. 1-16.
- Pielou, E. C. 1979. *Biogeography*. Wiley-Interscience, Nueva York.
- Pretty, J., y D. Smith. 2004. Social capital in biodiversity conservation and management. *Conservation Biology* 18 : 631-638.
- Ramsar. 1971. Strategic framework and guidelines for the future development of the List of Wetlands of International Importance of the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971). Disponible en: <[http://ramsar.org/key\\_guide\\_list2006\\_e.pdf](http://ramsar.org/key_guide_list2006_e.pdf)>.
- Ramsar. 2008. The List of Wetlands of International Importance. Ramsar. Disponible en: <<http://www.ramsar.org/sitelist>>.
- Ray, G. C. y B. P. Hayden. 1992. Coastal zones ecotones. En: A. J. Hansen, y F. di Cas-tri (eds). *Landscape boundaries, consequences for biotic diversity and ecological flows*. Springer-Verlag, Nueva York. Pp. 403-420.





- Raz-Guzmán, A., G. de la Lanza, and L.A. Soto. 1992. Caracterización ambiental y del sedimento, detrito y  $\delta^{13}$ C vegetación del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Revista Biología Tropical* 40:215–225.
- Regan, H.M., L.A. Hierl, J. Franklin, D.H. Deutschman, H.L. Schmalbach et al. 2008. Species prioritization for monitoring and management in regional multiple species conservation plans. *Diversity and Distributions* 14 : 462–471.
- Reséndez, M.A. 1973. Estudio de los Peces de la Laguna de Alvarado, Veracruz, México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 34:183–281.
- Rivera-Arriaga E. y G. Borges-Souza. El gran ecosistema marino del Golfo de México: Perspectivas para su manejo. EPOMEX. *Jaina Boletín Informativo*, Vol. 16(1).
- Rivera-Arriaga E. y G. Villalobos. 2001. The coast of Mexico: approaches for its management. *Ocean & Coastal Management*. 44:729-756
- Rosales-Hoz, L., E. Carranza, and R.U. Álvarez. 1986. Estudios sedimentológicos y químicos en los sedimentos del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13(3):19-28.
- Rosete, F. 2003. Unidades de gestión ambiental e instrumentos económicos. Seminario sobre instrumentos económicos para cuencas ambientales. Dirección General de Investigación de Política y Economía Ambiental. Serie Estudios INE 4:75-78.
- Rosete, F. y G. Bocco. 1999. Ordenamiento territorial. Bases conceptuales y estrategias de aplicación en México. *Revista de Geografía Agrícola* 28:21-39.
- Ross, P. E. 1994. Small, medium and large scale assessments: what do they tell about ecosystem health? En: *Proceedings of the 37th conference of the international association for Great Lakes research*, Canada.
- Rzedowski, J. 1980. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- Sarukhán, K.J. 1968. Análisis sin ecológico de las selvas de Terminalia amazonia en la planicie costera del Golfo de México. Tesis. Colegio de Posgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México. 300 p.
- SEMARNAT-INE (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología). 2000. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Gestión e Información Ambiental, México.
- SEMARNAT. 2006. Política ambiental nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas: Estrategias para su conservación y uso sustentable. Secretaría de planeación y política ambiental. Dirección general de política ambiental integración regional y sectorial. Dirección de integración regional. México D.F.
- Shepard, F.P., 1973, *Submarine geology*. Harper and Row-New York, 517 p.
- Vázquez. L.B., y K.J. Gaston 2006. People and mammals in Mexico: Conservation conflicts at a national scale. *Biodiversity and Conservation* 15 2397-2414.
- Villalobos, F.A, S. Gómez, V. Arenas, J. Cabrera, G. De la Lanza, and F. Manrique. 1975. Estudios hidrobiológicos en la Laguna de Alvarado (Febrero–Agosto 1966) *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* (1):1–34.
- Whitfield, A.K. and M. Elliot. 2002. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: A review of progress and some suggestions for the future. *Journal of Fish Biology* 61 (Supplement A): 229-250.
- Zacharias, M. A. y J. C. Roff. 2000. A hierarchical ecological approach to conserving marine biodiversity. *Conservation Biology* 14(5): 1327-1334.
- Zárate-Lomelí, D., T. Saavedra-Vázquez, J.L. Rojas-Galaviz, A. Yáñez-Arancibia, and E. Rivera-Arriaga. 1999. Terms of reference towards an integrated management policy in the coastal zone of the Gulf of Mexico and the Caribbean. *Ocean & Coastal Management* 42:345–368.

