



**Abraham Juárez Escobio**  
Instituto de Ecología A.C.

**Adi Estela Lázaro-Ruiz**  
Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-Rio)  
adi\_@iocpucbr.com.br

**Adriano Aquino Arreortúa**  
Universidad Veracruzana  
adriano.aarreortua@gmail.com

**Adolfo Campos C.**  
Instituto de Ecología A.C.  
adolfo.campos@inecol.mx

**Ascensión Capistrán**  
Universidad Veracruzana  
ascapistran@uv.mx

**Blanca Edith Escamilla-Pérez**  
Instituto de Ecología A.C.  
Blanca.escamilla@inecol.mx

**Carolina Madero Vega**  
Instituto de Ecología A.C.  
madero.carolina@gmail.com

**César Vázquez-González**  
Instituto de Ecología A.C.  
cesarvazquez4@gmail.com

**Dulce Infante Mata**  
El Colegio de La Frontera Sur  
dulce.infante@gmail.com

**Eduardo Cejudo**  
Instituto de Ecología A.C.  
cejudoe@gmail.com

**Gonzalo Castillo-Campos**  
Instituto de Ecología A.C.  
gonzalo.castillo@inecol.mx

**Hugo López Rosas**  
Universidad Nacional Autónoma de México  
hugolopez@unam.mx

**Ilsema Espejel**  
Universidad Autónoma de Baja California  
ilsema.espejel@uabc.edu.mx

**Iris Neri Flores**  
Universidad Veracruzana  
inerneri@gmail.com

**Jaime J. Carrera Hernández**  
Universidad Nacional Autónoma de México  
jaime-carrera@geoconciencia.unam.mx

**Javier Laborde Daval**  
Instituto de Ecología A.C.  
javier.laborde@inecol.mx

**Jesús Pala Pale**  
Instituto de Ecología A.C.  
pala.33@hotmail.com

**José Luis Marín Muñoz**  
Colegio de Veracruz  
osydlw@hotmail.com

**Liliana Cevallos Flores**  
Instituto de Ecología A.C.  
lcevallos@gmail.com

**Lorena Elisa Sánchez Higuero**  
Instituto de Ecología A.C.  
lorenelisa@gmail.com

**Luis Alberto Peralta Peláez**  
Instituto Tecnológico de Veracruz  
peralta@itvet.edu.mx

**Ma. Antonia Camacho**  
Instituto de Ecología A.C.  
marianacamachob@gmail.com

**Marcos González Nochebuena**  
Instituto de Ecología A.C.  
marcoconalnochebuena@gmail.com

**Maria Elizabeth Hernández**  
Instituto de Ecología A.C.  
elizabeth.hernandez@inecol.mx

**Mariano Guevara M.**  
Instituto de Ecología A.C.  
mario@pucbr.com

**Matilde Rincón**  
El Colegio de La Frontera Sur  
matilderincoperez@yahoo.com.mx

**Mayra Ramírez Pinedo**  
Instituto de Ecología A.C.  
mayra.ramirez@gmail.com

**Roberto C. Monroy Ibarra**  
Instituto de Ecología A.C.  
roberto.monroy@inecol.mx

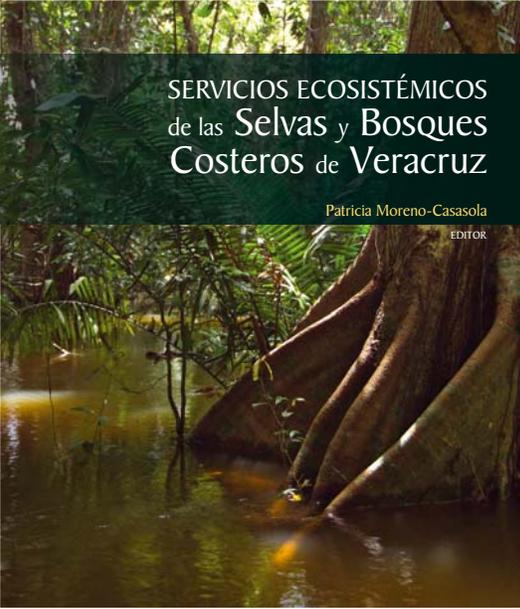
**Rosa María González-Marín**  
Universidad Veracruzana  
rosagonzalezmarin@gmail.com

**Samantha Díaz de León**  
Universidad Autónoma de Baja California  
metaleon1@hotmail.com

**Sara Pérez Torres**  
Servicios Profesionales Veracruzana  
exactas\_sara@hotmail.com

**Sergio Guevara Sada**  
Instituto de Ecología A.C.  
sergio.guevara@inecol.mx

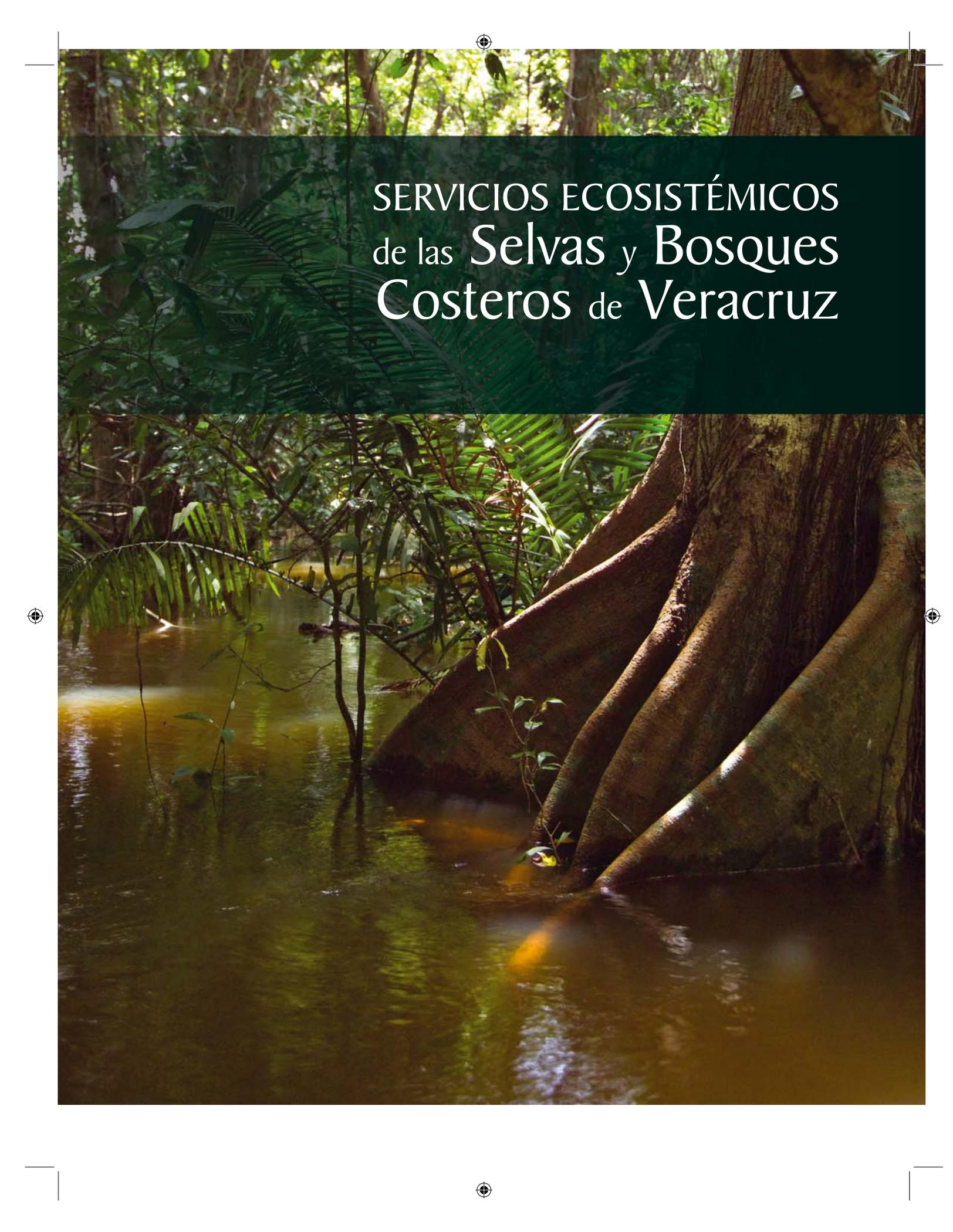
Servicios ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz



# SERVICIOS ECOSISTÉMICOS de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz

Patricia Moreno-Casasola  
EDITOR



The image is a full-page photograph of a tropical forest. In the foreground, a large tree trunk with prominent buttresses leans over a body of water. The water is a murky, yellowish-brown color. The background is filled with dense green foliage, including various types of ferns and other tropical plants. The lighting is natural, suggesting a sunny day with some shade. The text is overlaid on a dark green rectangular area in the upper right portion of the image.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
de las Selvas y Bosques  
Costeros de Veracruz

Primera edición, 2016

D.R. © por Instituto de Ecología, A.C.  
Carretera antigua a Coatepec No. 351,  
El Haya, Xalapa 91070, Veracruz, México  
ISBN 978-607-7579-57-1

Título: Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz  
Impreso en México ~ Printed in Mexico

Publicación en línea:  
[http://www.inecol.mx/inecol/libros/Servicios\\_Ecosistémicos\\_de\\_las\\_Selvas\\_y\\_Bosques\\_Costeros\\_de\\_Veracruz.pdf](http://www.inecol.mx/inecol/libros/Servicios_Ecosistémicos_de_las_Selvas_y_Bosques_Costeros_de_Veracruz.pdf)

Forma sugerida para citar este libro:  
Moreno-Casasola, P. (ed.) 2016.  
Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques costeros de Veracruz.  
INECOL - ITTO - CONAFOR - INECC. 360 pág.

Diseño y formación editorial: Instituto Literario de Veracruz, S.C.  
Fotografía: Gerardo Sánchez Vigil  
Dibujos: Kerenha Hernández González y Roberto C. Monroy Ibarra

D.R. © Ninguna parte de esta publicación, incluyendo el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, traducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, ya sea eléctrico, químico, mecánico, óptico de grabación o de fotocopia, sin permiso previo del editor. Párrafos pequeños o figuras aisladas pueden reproducirse, dentro de lo estipulado en la Ley Federal del Derecho de Autor y el Convenio de Berna, o previa autorización por escrito de la editorial.

# SERVICIOS ECOSISTÉMICOS de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz

*Patricia Moreno-Casasola*  
*Editor*  
Instituto de Ecología, A.C.

Esta guía es un producto del proyecto “Evaluación ambiental y valoración económica de los servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques costeros (manglares, selvas inundables, selvas y matorrales sobre dunas) y sus agro-sistemas de reemplazo, en la planicie costera central de Veracruz, México”, financiado por la Organización Internacional de Maderas Tropicales (ITTO), cuyo punto focal en México es CONAFOR.

[www.itto.int](http://www.itto.int)

**RED-PD 045/11 Rev.2 (M)**



Publicación 8 Serie Costa Sustentable





## Directorio de autores

### **Patricia Moreno-Casasola**

Coordinadora del Proyecto  
Instituto de Ecología A.C.  
patricia.moreno@inecol.mx

### **Abraham Juárez Eusebio<sup>†</sup>**

Instituto de Ecología A.C.

### **Adi Estela Lazos-Ruíz**

Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
(PUC-Rio).  
adita\_lazos@yahoo.co.uk

### **Adriana Aquino Arreortúa**

Universidad Veracruzana. Instituto de Investigaciones  
Forestales.  
adriana.a.arreortua@gmail.com

### **Adolfo Campos C.**

Instituto de Ecología A.C.  
adolfo.campos@inecol.mx

### **Ascensión Capistrán**

Universidad Veracruzana.  
acapistran@uv.mx

### **Blanca Edith Escamilla-Pérez**

Instituto de Ecología A.C.  
blanca.escamilla@inecol.mx

### **Carolina Madero Vega**

Instituto de Ecología A.C.  
madero.carolina@gmail.com

### **César Vázquez-González**

Instituto de Ecología A.C.  
cesargonzalez84@gmail.com

### **Dulce María Infante Mata**

El Colegio de La Frontera Sur.  
dinfante@ecosur.mx

### **Eduardo Cejudo**

Instituto de Ecología A.C.  
ecejudoe@gmail.com

### **Gonzalo Castillo-Campos**

Instituto de Ecología A.C.  
gonzalo.castillo@inecol.mx

### **Hugo López Rosas**

Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de  
Ciencias del Mar y Limnología.  
hugoloper@cmarl.unam.mx

### **Ileana Espejel**

Universidad Autónoma de Baja California.  
ileana.espejel@uabc.edu.mx

### **Iris Neri Flores**

Universidad Veracruzana.  
ineri@uv.mx

*Jaime J. Carrera Hernández*

Universidad Nacional Autónoma de México.  
jaime-carrera@geociencias.unam.mx

*Javier Laborde Dovalí*

Instituto de Ecología A.C.  
javier.laborde@inecol.mx

*Jesús Pale Pale*

Instituto de Ecología A.C.  
pale.33@hotmail.com

*José Luis Marín Muñiz*

Colegio de Veracruz  
soydrew@hotmail.com

*Liliana Cadavid Florez*

Instituto de Ecología A.C.  
soydrew@hotmail.com

*Lorena Elisa Sánchez Higuereado*

Instituto de Ecología A.C.  
lorenaelisa@gmail.com

*Luis Alberto Peralta Peláez*

Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación  
y Desarrollo de Alimentos (UNIDA)  
peralta@itver.edu.mx

*Ma. Antonia Camacho*

Instituto de Ecología A.C.  
maryantoniacamacho@gmail.com

*Marco González Nochebuena*

Instituto de Ecología A.C.  
marco.gonzalea@inecol.mx

*María Elizabeth Hernández*

Instituto de Ecología A.C.  
elizabeth.hernandez@inecol.mx

*Mariano Guevara M.*

Instituto de Ecología A.C.  
casasola99@yahoo.com

*Matilde Rincón*

El Colegio de la Frontera Sur  
matilderinconperez@yahoo.com.mx

*Mayitza Ramírez Pinero*

Instituto de Ecología A.C.  
mayitza.ramirez@gmail.com

*Roberto C. Monroy Ibarra*

Instituto de Ecología A.C.  
roberto.monroy@inecol.mx

*Rosa María González-Marín*

Universidad Veracruzana. Instituto de Biotecnología y  
Ecología Aplicada (INBIOTECA).  
rosy.gonzalez.marin@gmail.com

*Samantha Díaz de León*

Universidad Autónoma de Baja California.  
metalenation@hotmail.com

*Sara Pérez Torres*

Servicios Profesionales Veracruz  
exactas\_sara@hotmail.com

*Sergio Guevara Sada*

Instituto de Ecología A.C.  
sergio.guevara@inecol.mx

# ÍNDICE

## 17 EL CONTEXTO

---

### 18 I. La zona costera y sus ecosistemas

21 Los ecosistemas de playas y dunas

23 Los sistemas de dunas de Veracruz

23 Los humedales

25 Los manglares, un humedal salobre

25 Las selvas inundables

27 Los humedales herbáceos

28 Los sistemas de humedales de Veracruz

28 La complejidad ambiental

30 La zona costera en México y su importancia para el desarrollo del país y el bienestar de la población

32 Crecimiento poblacional de la zona costera

34 El proyecto

### 37 II. Los servicios ecosistémicos de los bosques costeros

37 ¿Qué son los servicios ecosistémicos?

41 Los servicios ecosistémicos en las costas

42 Servicios de las funciones de provisión

47 Servicios de las funciones de regulación

52 Servicios de las funciones de hábitat

55 Servicios de las funciones culturales

57 La importancia de valorar los servicios ecosistémicos de los bosques sobre ecosistemas costeros

## 59 LOS ECOSISTEMAS

---

### 60 III. Bosques y selvas en las dunas

63 Los sistemas de dunas de Veracruz

64 Las selvas y bosques

- 64 *Selva baja caducifolia de uvero o uva de playa (Coccoloba uvifera)*
- 66 *Selva baja de uvero (Coccoloba humboldtii)*
- 67 *Selva baja caducifolia*
- 69 *Selva mediana subcaducifolia de ramón u ojite (Brosimum alicastrum)*
- 69 *Selva mediana subperennifolia de zapote (Manilkara zapota)*
- 69 *Selva mediana de ébano (Terminalia buceras)*
- 71 *Bosque de encino tropical (Quercus oleoides)*
- 72 Hacia el establecimiento de selvas en las dunas
- 72 *Vegetación secundaria o acahual en las dunas costeras*
- 73 *Los matorrales de las dunas*
- 75 *De un bosque de casuarinas (pino de mar) a una selva*

#### 76 **IV. Manglares, selvas inundables y humedales herbáceos**

- 76 Distribución de los humedales en Veracruz
- 76 Distribución y gradientes en la zona costera
- 78 Tipos de humedales arbóreos en Veracruz
- 82 Tipos de humedales herbáceos en Veracruz
- 83 Los humedales y su relación con el ambiente
- 83 La hidrología y la fluctuación del nivel del agua
- 83 Los hidroperíodos de los distintos tipos de humedales
- 89 La salinidad
- 90 Conservación y restauración de los humedales

### 95 **LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

---

#### 96 **V. La conectividad del paisaje**

- 97 Consecuencias de la fragmentación del hábitat
- 99 Deforestación y fragmentación de selvas
- 100 El arbolado de potreros y campos agrícolas tropicales
- 101 Árboles aislados como indicadores de conectividad
- 106 Diseño de paisajes antrópicos con base en la conectividad

#### 109 **VI. La productividad**

- 110 Metodología
- 110 Productividad de los manglares, de las selvas inundables y del palmar
- 117 Productividad (biomasa) de los humedales herbáceos
- 117 Productividad de las selvas y matorrales de las dunas costeras
- 118 La productividad en la zona costera
- 119 Consideraciones finales

#### 121 **VII. Almacenes de carbono en selvas inundables, manglares, humedales herbáceos y potreros inundables**

- 122 Sitios de muestreo
- 123 Almacén de carbono en el suelo
- 123 Almacén de carbono en biomasa aérea y raíces
- 124 Resultados
- 124 *Contenido de carbono en biomasa aérea y raíces de las especies de plantas de los humedales de la costa de Veracruz*

- 124 *Almacén de carbono en biomasa aérea*
- 124 *Almacén de carbono en raíces*
- 124 *Almacén de carbono en suelo*
- 128 Discusión
- 128 Conclusiones
  
- 130 **VIII. Servicios hidrológicos de los suelos de humedal:  
la capacidad de almacenamiento de agua**
- 130 Mecanismos que controlan la retención de agua en el suelo
- 133 Servicios ecosistémicos (SE) que dependen de la capacidad de retención de agua del suelo
- 135 Factores relacionados con la capacidad de almacenamiento de agua del suelo
- 137 Variación en la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos de humedales de la planicie costera de Veracruz
  - 137 *Selvas inundables*
  - 138 *Manglares*
  - 138 *Popales*
  - 139 *Potreros*
  - 140 *Palmar*
  - 140 *Todos los sitios*
- 141 Relaciones entre las propiedades de los suelos en los humedales estudiados
- 142 Conclusiones
  
- 143 **IX. La filtración y depuración del agua**
- 143 El agua en los humedales
- 145 Cómo se forman y funcionan los humedales
- 146 Calidad del agua en los humedales
- 146 Funciones hidrológicas y de control de agua de los humedales, base de los servicios ecosistémicos
  - 147 *Control de inundaciones*
  - 147 *Recarga y descarga de aguas subterráneas*
  - 147 *Los humedales y la calidad del agua*
- 148 Estudios en humedales costeros en la zona de Veracruz
- 150 Hidrogramas y calidad del agua en tres desarrollos habitacionales de la cuenca baja del río Jamapa (municipios de Veracruz-Boca del Río-Medellín)
- 154 Servicios ecosistémicos proporcionados por la vegetación hidrófita: control de nutrientes y depuración del agua
- 157 Remoción de nutrientes por dos especies de vegetación acuática libre flotadora (*Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*) y las especies arbóreas (*Annona glabra* y *Pachira aquatica*)
  
- 160 **X. El aprovisionamiento**
- 161 Área de estudio
- 161 Metodología
- 162 Bienes y productos que proporcionan los ecosistemas costeros
  - 162 *Los humedales y las dunas*
  - 163 *Los árboles*
  - 168 *La leña*
  - 169 *Las palmeras*
  - 173 *Recursos de ecosistemas transformados a agricultura y ganadería*
  - 174 *Plantas medicinales*
  - 175 *La fauna silvestre*

- 178 Recursos de lagunas de agua dulce y salobre
- 178 *Sistema Lagunar de Alvarado*
- 179 *Laguna La Mancha*
- 179 *Laguna El Apompal*
- 179 *Laguna de Tampamachoco*
- 180 Los ecosistemas costeros para la seguridad alimentaria y la calidad de vida
- 181 Factores que están disminuyendo los recursos de aprovisionamiento
- 182 Algunas propuestas para disminuir los factores que disminuyen los recursos naturales y contribuir a la seguridad alimentaria

## 185 VALOR ECONÓMICO Y SU DISTRIBUCIÓN

---

### 186 **XI. Valor económico de los ecosistemas**

- 186 Definición de los servicios ecosistémicos
- 186 Clasificación de los servicios ecosistémicos
- 187 Síntesis de los métodos de valoración económica
- 188 *Valoración económica: directa e indirecta*
- 190 Métodos por servicio ecosistémico valorado
- 190 *Métodos para estimar el valor comercial*
- 190 *Valor comercial: reducción de emisiones de carbono*
- 190 *Costo evitado por bienes sustitutos*
- 190 *Costo de los daños evitados y/o asumidos*
- 191 *Conectividad/restauración propia del ecosistema*
- 191 *Almacenamiento y oferta de agua*
- 191 *Pesca ribereña*
- 192 *Información / ciencia y academia*
- 192 *Pago por conservación de humedales costeros*
- 196 Estandarización de los valores monetarios
- 196 Resultados de la valoración económica de humedales y manglares (casos de estudio)
- 198 Discusión

### 204 **XII. La distribución de los servicios ecosistémicos**

- 204 Introducción
- 204 Método
- 205 *Generación de las capas de uso de suelo y vegetación*
- 208 *Asignación de los valores de las evaluaciones ecológicas y de las valoraciones económicas*
- 213 Distribución geográfica y evaluación y valoración económica de los servicios ecosistémicos
- 213 *La Mancha, municipio de Actopan*
- 217 *Sistema Lagunar de Alvarado*
- 248 *Municipio de Tecolutla y Reserva Estatal de Ciénaga del Fuerte*
- 274 Consideraciones finales

## 277 LAS CONSECUENCIAS

---

### 278 **XIII. La pérdida de servicios ecosistémicos**

- 278 Los cambios en el uso del suelo y el grado de impacto
- 279 La potrerización de dunas y humedales

286	Efecto del cambio de uso de suelo en el servicio ambiental de secuestro de carbono
289	La disminución de la resiliencia de las selvas de la planicie costera y de las dunas
290	La urbanización
294	Conservación, restauración y recuperación de los servicios ecosistémicos: una alternativa
294	<i>Recuperación en el bajo Papaloapan de pesquerías y almacenamiento de carbono</i>
297	<i>Recuperar la conectividad: árboles en pie y cercas vivas, base de la reforestación</i>
298	<i>La recuperación de servicios de control de inundaciones en Tecolutla y en el Puerto de Veracruz</i>
299	<b>XIV. La restauración ecológica de la cobertura arbórea en pastizales abandonados</b>
300	Dispositivos nucleadores
300	<i>Perchas artificiales</i>
301	El área de estudio
303	Método
303	<i>Vegetación bajo perchas y en pastizal abierto</i>
305	Resultados
305	<i>Predio acahual</i>
307	<i>Vegetación bajo las perchas y en pastizal abierto</i>
307	Discusión
310	Conclusión
311	<b>EL FUTURO</b>
312	<b>XV. La conservación de los servicios ecosistémicos y el cambio climático: algunas alternativas</b>
312	Introducción
315	<i>Objetivo</i>
316	Las zonas rurales y el cambio climático. Estudios de percepción y el futuro
316	Estrategias emanadas de los resultados de este proyecto
316	<i>Adaptación por ecosistemas</i>
317	<i>Organización de grupos</i>
319	<i>Políticas de gobierno</i>
319	<i>Ordenamientos y Manifestaciones de Impacto Ambiental</i>
319	<i>Pago por servicios ecosistémicos</i>
321	<i>Estudios de caso</i>
321	<i>Caso 1. La producción pesquera del Complejo Lagunar de Alvarado.</i>
323	<i>Caso 2. La producción de caña de azúcar en los humedales de Alvarado.</i>
323	<i>Caso 3. Las inundaciones en el Puerto de Veracruz.</i>
326	<b>XVI. Conclusiones</b>
328	<b>Lista de especies mencionadas</b>
334	<b>Referencias</b>

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS  
de las Selvas y Bosques  
Costeros de Veracruz



## IV. MANGLARES, SELVAS INUNDABLES Y HUMEDALES HERBÁCEOS

*Patricia Moreno-Casasola, Eduardo Cejudo, Roberto C. Monroy Ibarra, Dulce María Infante Mata, Hugo López Rosas, Luis Alberto Peralta Peláez, Iris Neri Flores, Gonzalo Castillo-Campos, Carolina Madero Vega, Ascensión Capistrán, Matilde Rincón y Sara Pérez Torres*

La importancia de los humedales como ecosistemas se incrementó desde la década de los ochenta en el siglo pasado y en México se iniciaron trabajos sobre su ecología y distribución y se dio impulso a sitios para protegerlos (diversos tipos de reservas) y para manejarlos sustentablemente (sitos con denominación Ramsar) en la década de los noventa. Es necesario señalar que en los humedales hay tanta variabilidad como en los ecosistemas terrestres (Wheeler *et al.*, 2002). Sobre todo para nuestro país, aún se requiere información sobre su composición, su estructura, su relación con el entorno y su funcionamiento.

Los humedales tienen formas de crecimiento muy variadas, que incluyen comunidades arbóreas, arbustivas y herbáceas, y dentro de estos tipos también hay grandes diferencias. Los humedales arbóreos pueden estar formados por muy pocas especies como los manglares o ser ricos en especies como las selvas inundables. Los palmares también forman un estrato alto que varía a lo largo del territorio en composición de especies, desde monoespecíficas hasta mezcladas con diversas especies de árboles. Dentro de los herbáceos los hay de vegetación emergente, sumergida, con plantas que flotan libremente o solo con hojas flotantes mientras la raíz está enterrada en el fondo. Moreno-Casasola *et al.* (2012) hicieron una revisión de los distintos tipos de humedales del país y de Centroamérica.

Los factores ambientales son determinantes en el tipo de humedales, siendo los principales la fluctuación del nivel del agua y la periodicidad de la inundación, así como la salinidad. Factores que también influyen son el tipo de suelos, el pH, la cantidad de nutrientes presentes, el origen del agua, entre otros. Aún falta mucho trabajo en México para poder determinar diferencias y similitudes entre las necesidades ambientales de los distintos tipos de humedales. El objetivo de este capítulo es describir la estructura de la comunidad y los distintos conjuntos de flora que forman los bosques de humedales (manglares, selvas inundables y palmares) y los humedales herbáceos de la costa veracruzana, y tipificarlos en base a su estructura, composición, y dos factores ambientales fundamentales, el nivel y permanencia de la inundación (hidroperíodo) y la salinidad.

### **Distribución de los humedales en Veracruz**

#### *Distribución y gradientes en la zona costera*

La planicie de Veracruz está surcada por numerosos ríos, algunos de ellos muy caudalosos que presentan planicies inundables extensas. Además, recibe agua subsuperficial de la infiltración del agua de lluvia en la Sierra Madre Oriental y se considera que por Veracruz fluye el 30% de los escurrimientos del país (Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2010). Por lo tanto, esta superficie plana y baja es propicia para que se formen extensos humedales alimentados por el desborde del agua de los ríos y por el agua subterránea (Yetter, 2004; Neri Flores *et al.*, 2014). Esta agua fluye hacia el mar ya sea a través de los propios ríos o llega a lagunas costeras y en ambos casos se forman gradientes de salinidad dados por el intercambio de agua con el mar. Ello crea extensos gradientes de salinidad e inundación que albergan distintos tipos de

humedales (Capítulo I). Esta variación de condiciones ambientales permite que un tipo de humedal dé lugar a otro en una transición generalmente suave, aunque a veces, por diferencias topográficas se puede tener un pie en un humedal y literalmente el otro pie en un tipo de humedal distinto. Sin embargo, la distribución más frecuente es a lo largo de un gradiente de salinidad en donde el manglar se ubica en las zonas de intercambio de agua dulce y agua marina y por tanto de mayor fluctuación; las selvas sobre todo de apompo (*Pachira aquatica*), se establecen en la parte más dulce del manglar y frecuentemente se pueden encontrar individuos de apompo y de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) lado a lado (Infante-Mata *et al.*, 2014). La especie de humedal herbáceo más tolerante a la salinidad es la nea o tule (*Typha domingensis*) que forma tulares (Flores-Verdugo *et al.*, 2007), por lo que se establece a continuación sobre este gradiente (Figura 29) y por atrás de esta comunidad aparecen los popales, otro tipo de humedal herbáceo aunque de hojas anchas, donde domina el platanillo (*Pontederia sagittata*), la bayoneta (*Sagittaria lancifolia*), el caracolillo (*Thalia geniculata*) entre otras. Dentro de cada una de estas condiciones, la topografía también influye y las especies se distribuyen conforme a su tolerancia a la inundación, la cual conlleva a una reducción importante del oxígeno disuelto en el agua. En las zonas inundadas por agua dulce y que permanecen inundadas menos tiempo, hay una conversión importante a actividades ganaderas y frecuentemente se establecen potreros (Moreno-Casasola *et al.*, 2012).

La Figura 29 muestra la distribución de distintos tipos de humedales a lo largo de una planicie de inundación donde la salinidad y el tiempo y periodicidad de la inundación varían. Entre los humedales arbóreos, los manglares se establecen en la zona más salina y la selva inundable hacia la zona más dulce. Los tulares y los popales pueden permanecer inundados gran parte del tiempo y los primeros toleran una ligera salinidad.

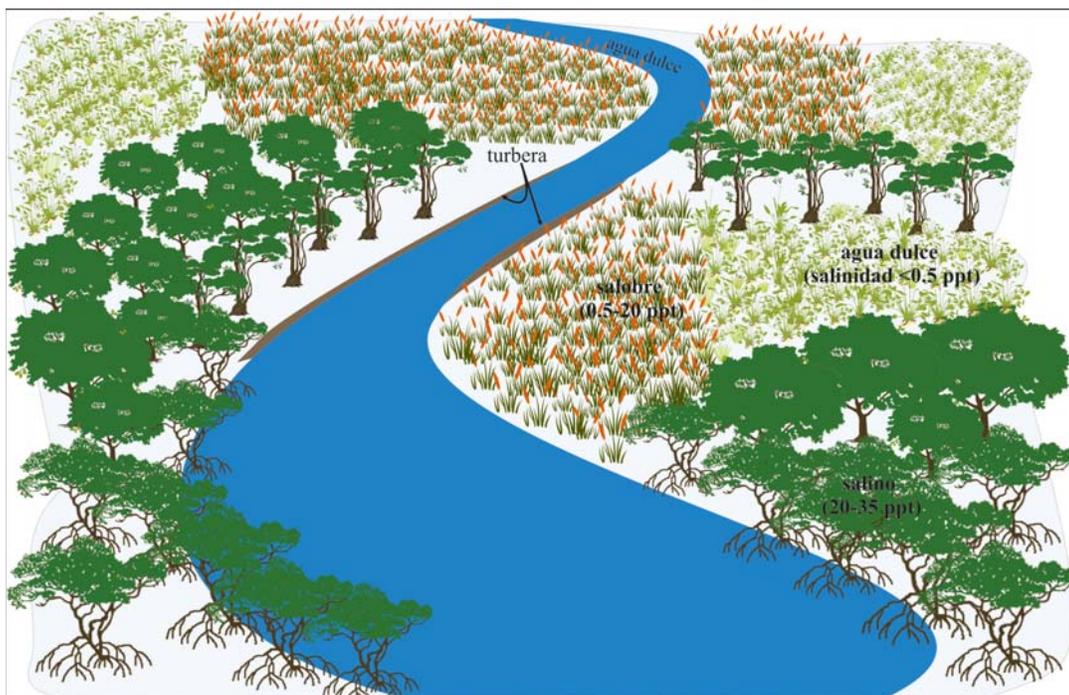
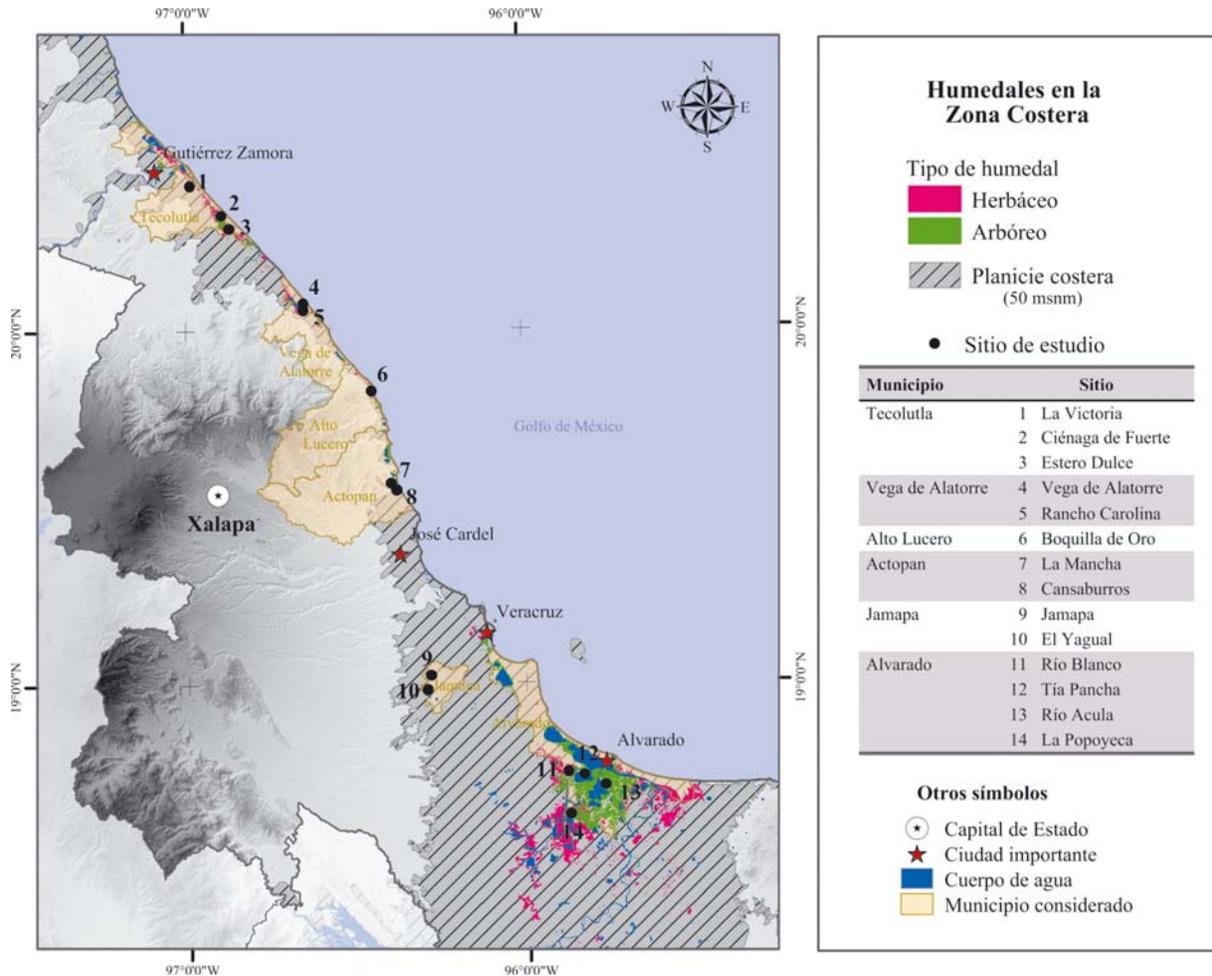


Figura 29. Gradientes en las planicies de inundación de la zona costera de Veracruz. Modificada de Silk y Ciruna (2004).

Los humedales se establecen a lo largo de toda la planicie costera de Veracruz, con frecuencia asociados a las planicies de inundación de los ríos, pero también en depresiones en terrenos más elevados. A nivel de imágenes aéreas es muy difícil distinguir entre la distribución de manglares y la de selvas inundables, pues como ya se explicó forman un gradiente; solamente la verificación de campo permite esta separación. Algo similar sucede entre tulares y popales y con frecuencia también con respecto a los humedales potrerizados. La distribución de los humedales arbóreos y herbáceos se presenta en la Figura 30.

*Tipos de humedales arbóreos en Veracruz*

El dendrograma de los cuadros de muestreo de humedales en Veracruz (192 cuadros de 10 x 10 m, 304 especies, método de encadenamiento Beta Flexible, programa PCOrd) mostró la formación de cinco grandes grupos. El primero en separarse son los manglares (V) y por otro lado un gran grupo con las selvas, los palmares y un manglar. Este segundo grupo se subdividió en las selvas menos inundadas (I), los palmares (II), el manglar de Barra de Galindo en Tuxpan (III) y las selvas más inundadas (IV) (Figura 31).



**Figura 30.** Distribución de los humedales arbóreos (manglares, selvas inundables y palmares) y de los humedales herbáceos (popales/tulares y humedales potrerizados) de la planicie costera de Veracruz. Se indican las zonas de estudio del presente trabajo. Elaborado por: Roberto Monroy.

Un análisis más detallado mostró que el Grupo I incluía los cuadros de cinco zonas de trabajo. Los cuadros de la selva de ébano (*Terminalia buceras*) y la trepadora o bejuquillo (*Hippocratea volubilis*) de Tamiahua se separaron primero y se mantuvieron todos en el mismo grupo (subgrupo 1 en el dendrograma). Un segundo grupo se formó con los cuadros de la selva de Los Lirios y Las Blancas (municipio de Alvarado) dominadas por la hoja de pepe (*Crataeva tapia*), palma de coyol real (*Attalea butyracea*), *Daphnopsis americana*, tulipán o falso hibisco (*Malvaviscus arboreus*), lengua de vaca (*Syngonium podophyllum*) (subgrupo 2); la selva de Barra de Galindo (municipio de Tuxpan) dominada por higueras de varias especies (*Ficus* spp.) y el árbol conocido como cojones de burro o huevos de gato (*Stemmadenia donnell-smithii*) (3); la de Boquilla de Oro (Alto Lucero) con *Ficus* spp., roble (*Tabebuia rosea*), anona o corcho (*Annona glabra*), *S. donnell-smithii* (4); y la selva de Mandinga (municipio de Alvarado) dominada por zapote negro (*Diospyros digyna*), *S. donnell-smithii* y palma de coyol redondo o apachite (*Sabal mexicana*) (5). Los cuadros de estas selvas se mantienen formando grupos como se observa en el dendrograma, lo cual habla de que comparten especies pero también presentan diferencias importantes en su composición florística.

El Grupo II está formado por los palmares. Se separa el palmar de Río Limón (Alvarado) el cual está dominado por la palma de coyol redondo o apachite (*Sabal mexicana*), la ciperácea *Fimbristylis spadicosa* y el pasto *Spartina patens* (subgrupo 6 del dendrograma). Es un palmar pobre en especies, muy potrerizado. Se forma otro grupo con el palmar del Yagual (Jamapa) (subgrupo 7), formado por dos asociaciones, una dominada por el coyol real (*A. butyraceae*) además de la palma de apachite (*Pithecellobium lanceolatum*), *Ficus* spp., *Casearia guevarana* y abundantes lianas y otro por la palma de coyol (*S. mexicana*), mucal o junco (*Dalbergia brownii*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), *Ficus* spp. entre otras.

El Grupo III está formado por el manglar de Barra de Galindo, dominado por el manglar de botoncillo (*Conocarpus erectus*), *Microgramma nitida*, bejuco de mangle o barbasco de mangle (*Rhaddadenia biflora*) y mucal o junco (*D. brownii*) (8).

El Grupo IV está formado por cuatro subgrupos de selvas inundables. El primero incluye las selvas de Río Blanco (Alvarado) y Estero Dulce (Tecolutla) (subgrupo 9) ambas dominadas por el zapote reventador o apompo (*Pachira aquatica*), las trepadoras mucal o junco (*D. brownii*), bejuco de mangle (*R. biflora*), bejuquillo (*Hippocratea volubilis*) y la primera con un sotobosque ralo de platanillo (*Pontederia sagittata*), Estero Dulce (Tecolutla) también dominado por el apompo, con la presencia de canta rana (*Pithecellobium recordii*) y *Dendropanax arboreus*. El segundo subgrupo (10) corresponde a las selvas de Laguna Chica (Vega Alatorre) y El Salado (Alvarado), dominadas por el apompo, el mucal o junco (*D. brownii*) y *D. arboreus*. En el Salado abunda la anona (*Annona glabra*). El tercer subgrupo está formado por la selva de anona (*A. glabra*) y zapote reventador en La Mancha (Actopan) y el cuarto y último (12) por las selvas de El Apompal (Jamapa) con apompo (*P. aquatica*), palma real (*A. butyraceae*), mucal o junco (*D. brownii*), barajilla o mata piojo (*Hippocratea celastroides*), lengua de vaca (*Syngonium podophyllum*) y la selva de Ciénaga del Fuerte (Tecolutla), con estas mismas especies además de *Ardisia revoluta*, *Pithecellobium latifolium*. En El Apompal también hay presencia de la palma de yagua (*Roystonea dunlapiana*).

El grupo V está formado por los manglares y se divide en dos subgrupos. En el primero (subgrupo 13) están los cuadros de Rincón de la Palma (Alvarado), Estero Dulce (Tecolutla), Laguna Grande y Chica (Vega Alatorre), Acula (Alvarado) y de Mandinga (Alvarado). Está dominado por las tres especies de manglar: mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle rojo

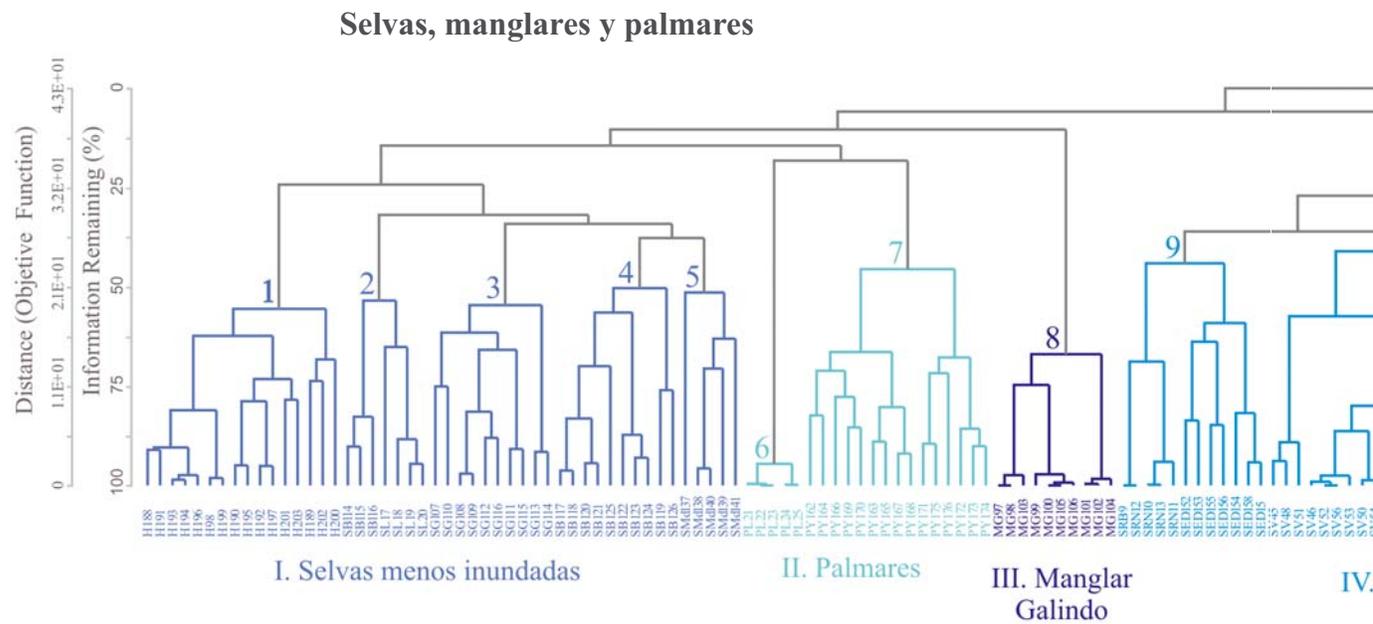


Figura31. Dendrograma mostrando los distintos grupos de humedales arbóreos que se registraron en Veracruz.

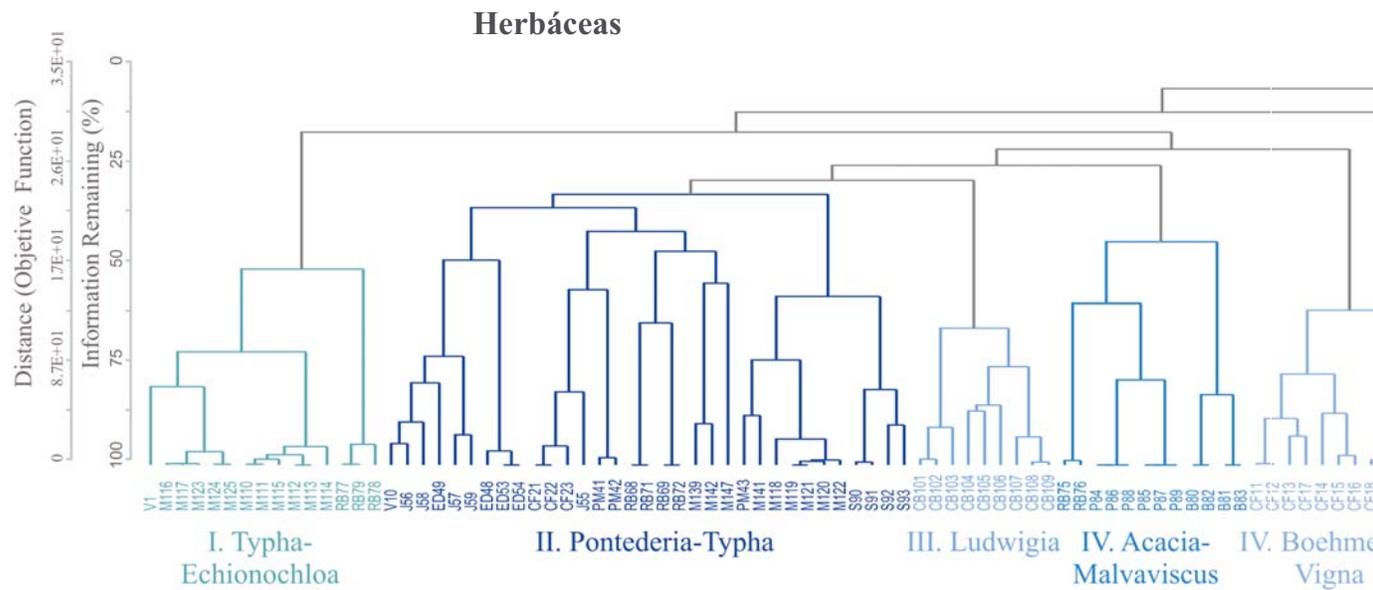
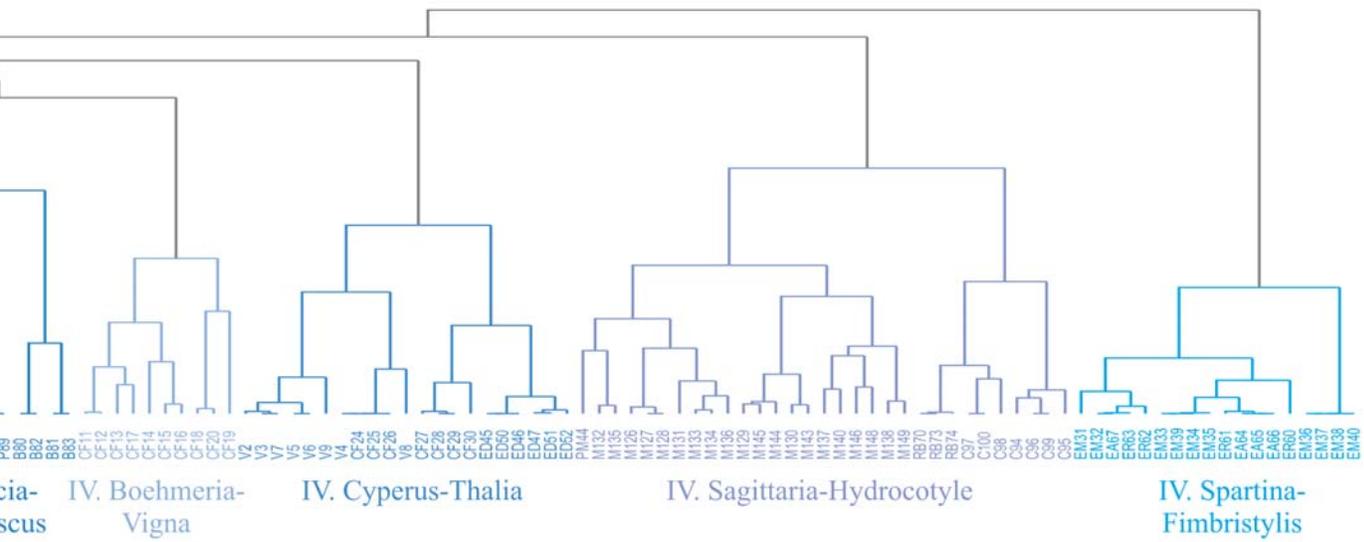
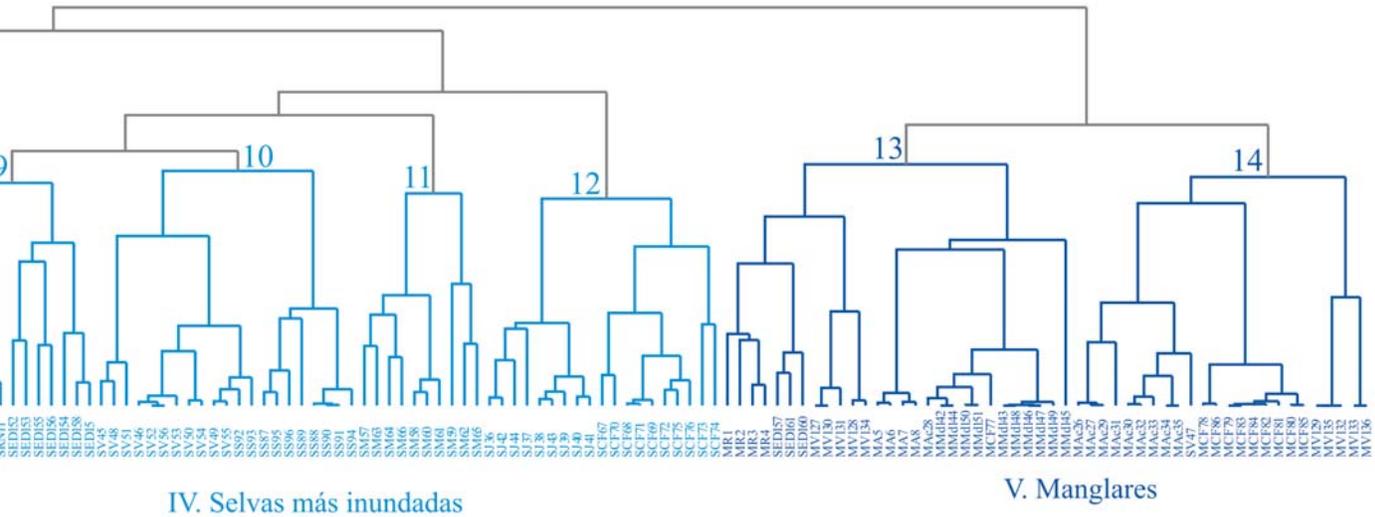


Figura32. Dendrograma mostrando los distintos tipos de humedales herbáceos emergentes que se registraron en Veracruz.



(*Rhizophora mangle*). El segundo subgrupo (14) incluye los cuadros de Acula (Acula), Ciénaga del Fuerte (Tecolutla) y algunos cuadros de Laguna Grande y Chica, dominados por *R. mangle* y *L. racemosa*, y varios de ellos presentan *P. aquatica*, el zapote reventador.

#### *Tipos de humedales herbáceos en Veracruz*

Los humedales herbáceos conjuntan numerosos tipos de comunidades. Algunas aparecen cuando la selva inundable se tala, en forma de manchones o bien cubriendo superficies enteras, a veces promovidas por el uso de fuego. Incluyen comunidades de hierbas emergentes que sobresalen del agua, comunidades flotantes y comunidades sumergidas. En esta sección se hará énfasis en las comunidades emergentes. Los humedales herbáceos emergentes incluyen a los popales, tulares y carrizales. Son ecosistemas ampliamente distribuidos en la planicie costera del Golfo de México. Los términos tular y popal fueron asignados por Faustino Miranda (Miranda y Hernández-X, 1963). El popal describe una comunidad vegetal sobre superficies pantanosas permanentemente estancada en la planicie costera de Tabasco, sur de Veracruz, Chiapas y Campeche. Se establece sobre llanuras aluviales, prácticamente sin declives, atravesadas por ríos que por medio de filtraciones e inundaciones cubren la superficie, en zonas con climas tropicales lluviosos (Rzedowski, 1983). Entre las especies más frecuentes están el platanillo (*Pontederia sagittata*), caracolillo (*Thalia geniculata*), bayoneta (*Sagittaria lancifolia*), sombrerillo (*Hydrocotyle bonariensis*), *Echinodoros andrieuxii*, cebolla de cucho (*Limnocharis flava*), mafafa u hoja elegante (*Xanthosoma robustum*). Los tulares son comunidades de plantas acuáticas dominadas por monocotiledóneas de 1 a 3 m de alto, de hojas angostas o bien carentes de órganos foliares, entre el nivel del mar y los 2,750 msnm. En la planicie costera predomina la nea o tule (*Typha domingensis*), coyolillo gigante (*Cyperus giganteus*) además de otras especies del género *Cyperus* y se conocen como tulares. En Veracruz, en la cuenca del Papaloapan, también se le nombra tule o tulillo a la ciperácea *Eleocharis* spp. Los carrizales están dominados por *Phragmites communis* y *Arundo donax* (carrizos) y zacate cuchillo (*Cladium jamaicense*). Para la planicie de Veracruz, Moreno-Casasola *et al.* (2010) ubicaron 11 localidades con presencia de humedales herbáceos emergentes donde analizaron la vegetación y los componentes abióticos.

En la Figura 32 aparece un dendrograma con los cuadros de muestreo de las comunidades de humedales herbáceos emergentes. La matriz está formada por 149 cuadros y 122 especies. El primer grupo en separarse es la comunidad de esparto dominada por *Spartina patens*, *Fimbristylis spadicosa* y *Eleocharis cellulosa*, presente en el Papaloapan (Rincón y Acula) y en Mandinga, en zonas alrededor de los manglares. El segundo grupo en separarse es un popal formado por la bayoneta (*Sagittaria lancifolia*), platanillo (*Pontederia sagittata*), *Hydrocotyle* spp., bejuco nube blanca (*Mikania micrantha*), el caracolillo (*Thalia geniculata*), *Leersia* spp., entre varias otras de hojas anchas. Abunda en La Mancha, en el Papaloapan y en Ciénaga del Fuerte. Se separa un tercer grupo dominado por el coyolillo gigante (*Cyperus giganteus*) acompañado frecuentemente por el caracolillo (*Thalia geniculata*), que forma comunidades densas en la zona centro-norte del estado (Estero Dulce, Ciénaga del Fuerte, Laguna Chica y Grande) y en el Papaloapan, al sur. Finalmente se forma un grupo grande que se puede subdividir en agrupaciones donde está presente la ortiga falsa (*Boehmeria cylindrica*) y *Vigna luteola* en Ciénaga del Fuerte, otro grupo con cornizuelo (*Acacia cornigera*) y tulipán o falso hibisco (*Malvaviscus arboreus*) en varias zonas del Papaloapan, otro con yerba del clavo (*Ludwigia octovalvis*) en Cansaburros (Actopan) y finalmente el tular dominado por nea o tule (*Typha domingensis*), donde con menor número aparecen otras especies de hojas anchas como platanillo (*P. sagittata*) y algunos pastos como el alemán (*Echinochloa pyramidalis*), que se distribuye a lo largo de toda la planicie costera.

## Los humedales y su relación con el ambiente

### *La hidrología y la fluctuación del nivel del agua*

En los humedales, por ser zonas de transición entre la tierra y los sistemas acuáticos, el agua constantemente interactúa con la tierra y de esa manera controla el ambiente, así como la vida vegetal y animal asociada. La hidrología es el principal factor ambiental que determina y afecta a los humedales (Mitsch y Gosselink, 2007). Incluso cuando las condiciones hidrológicas de los humedales cambian ligeramente, la biota puede responder con grandes cambios en la riqueza de especies y la productividad de los mismos.

Estos ecosistemas están intrínsecamente ligados al ciclo del agua, tanto a través de las interacciones que establecen con el medio ambiente en general como por los procesos hidrológicos internos. Son importantes en la alteración del ciclo del agua (Bullock y Acreman, 2003) ya que influyen en la evaporación, en los caudales de los ríos, en los niveles de agua subterránea y de los lagos, por lo que a pesar de que sólo cubren el 6% de la superficie terrestre influyen en gran parte del planeta. No todos los humedales reciben agua de la misma fuente ni dependen de una sola. Los humedales en las tierras altas, en las cabeceras de las cuencas hidrográficas, tienden a ser alimentados directamente por precipitación. Los humedales aguas abajo tienen la entrada adicional de agua de los ríos y/o aguas subterráneas, mientras que los de la costa también estarán sujetos al flujo de las mareas y la salida de agua marina.

Los distintos tipos de humedales varían en su composición florística y en su estructura, pero también en su hidroperíodo. El régimen hidrológico del humedal es el patrón estacional del nivel del agua, resultado del balance entre las entradas y salidas de agua, la geomorfología del humedal y el suelo (Mitsch y Gosselink, 2007). Se define por su duración (tiempo que permanece la inundación), frecuencia (el número de veces que se inunda en un tiempo dado), la profundidad que alcanza y la época de inundación. Es la firma del humedal y nos permite identificarlo. El nivel del agua generalmente fluctúa, aún en aquellos casos en que el humedal permanece inundado todo el año. Estas fluctuaciones pueden ser estacionales, diarias, semidiarias (en función de las mareas) o impredecibles. Algunas de sus características son la temporalidad, la procedencia del agua y las características fisicoquímicas.

### *Los hidroperíodos de los distintos tipos de humedales*

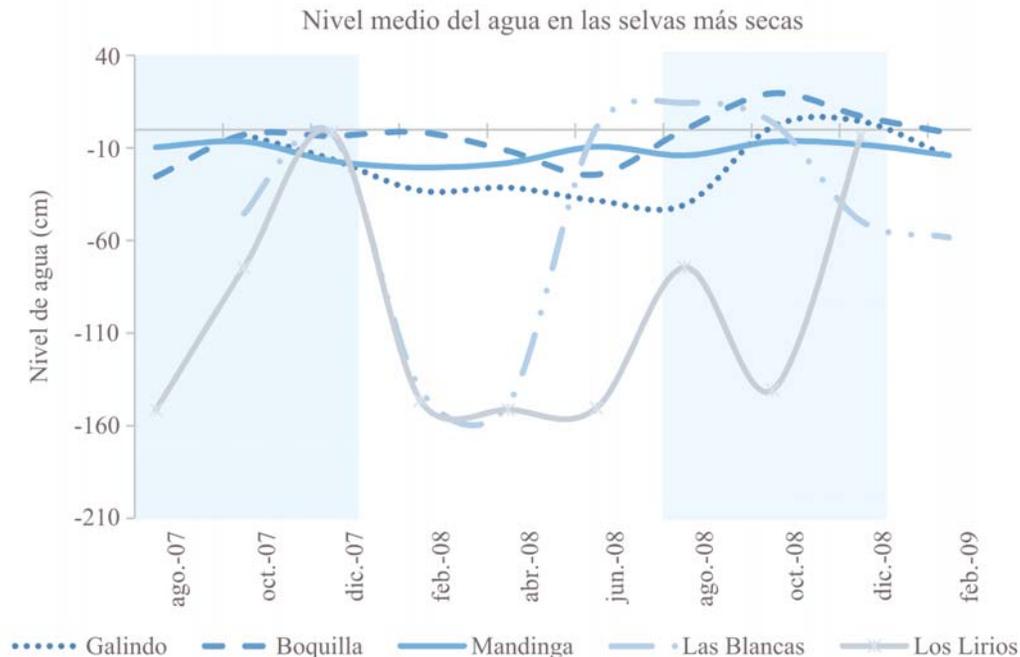
El comportamiento del hidroperíodo es uno de los factores que caracteriza y diferencia los distintos tipos de humedales. Se midió la altura de la inundación dada por el agua y la profundidad a la que desciende a lo largo de períodos entre un año y tres años. En las gráficas el nivel del suelo está dado por el cero. Se puede ver que en todos los humedales hay un claro comportamiento estacional durante el cual el agua desciende durante las secas y se acumula durante las lluvias, pero hay fuertes variaciones en el período que permanece inundado, que permanece seco y el nivel que alcanza el agua de inundación (Figura 33).

En las selvas secas hay dos comportamientos; el primero es el correspondiente a las dos selvas de los humedales del Papaloapan, selvas que ocupan poco territorio en las zonas más altas del humedal, y puede verse que la inundación en Las Blancas es más pronunciada que en Los Lirios, donde es más ocasional. En ambos casos dura poco tiempo y las raíces de los árboles permanecen oxigenadas durante períodos extensos de tiempo, ya que el agua baja a una profundidad de casi un metro o más. En las selvas de Barra de Galindo, Boquilla de Oro y Mandinga el agua permanece más cercana a la zona de raíces e inunda por períodos cortos de tiempo o solamente mantiene el suelo saturado. La inundación no alcanza grandes alturas, por lo que hay un sotobosque en estas selvas. En las selvas más húmedas puede verse que

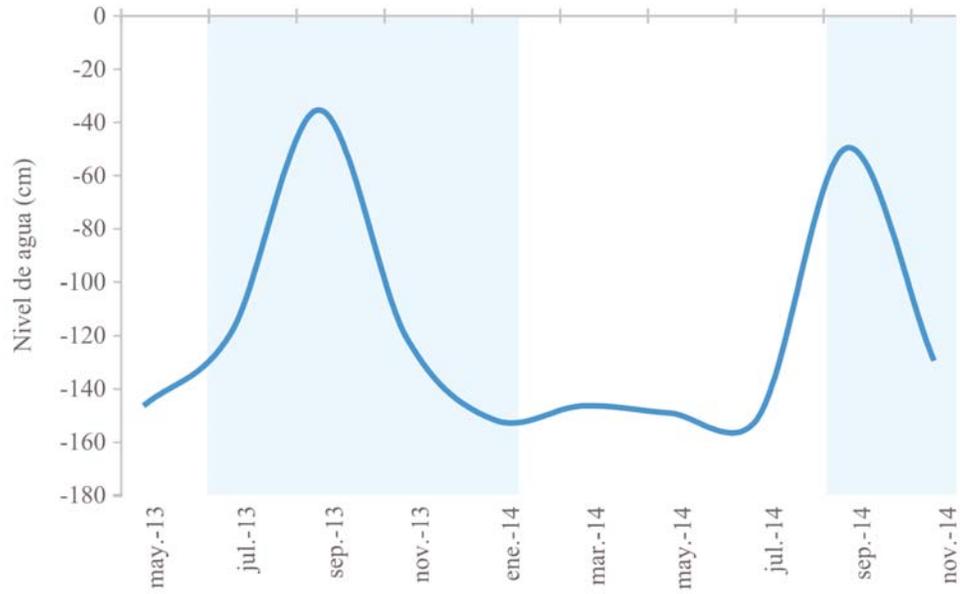
la inundación permanece por períodos más extensos y el agua permanece en la zona de las raíces casi todo el año. Las selvas de Jamapa, Estero Dulce y Ciénaga se localizan sobre planicies de inundación donde el agua llega tanto por un flujo subsuperficial como por el derrame de los ríos, y están dominadas por el zapote reventador o apompo (*Pachira aquatica*). En el caso de La Mancha, la selva se localiza en una depresión y el agua fluye subsuperficialmente y permanece durante más tiempo; además la especie dominante es el corcho o anona (*Annona glabra*). Infante-Mata *et al.* (2012) describieron la composición florística de varias de estas selvas.

Dos casos más extremos son los palmares. En el caso del El Yagual, su comportamiento es más parecido al de las selvas secas, y aún en los palmares en el Papaloapan, el agua es más estacional. Lo mismo sucede con el manglar dominado por *Conocarpus erectus*, en la Barra de Galindo, en el municipio de Tuxpan (Figura 33) ya que está dominado por el botoncillo, la especie que tolera menos inundación y salinidad.

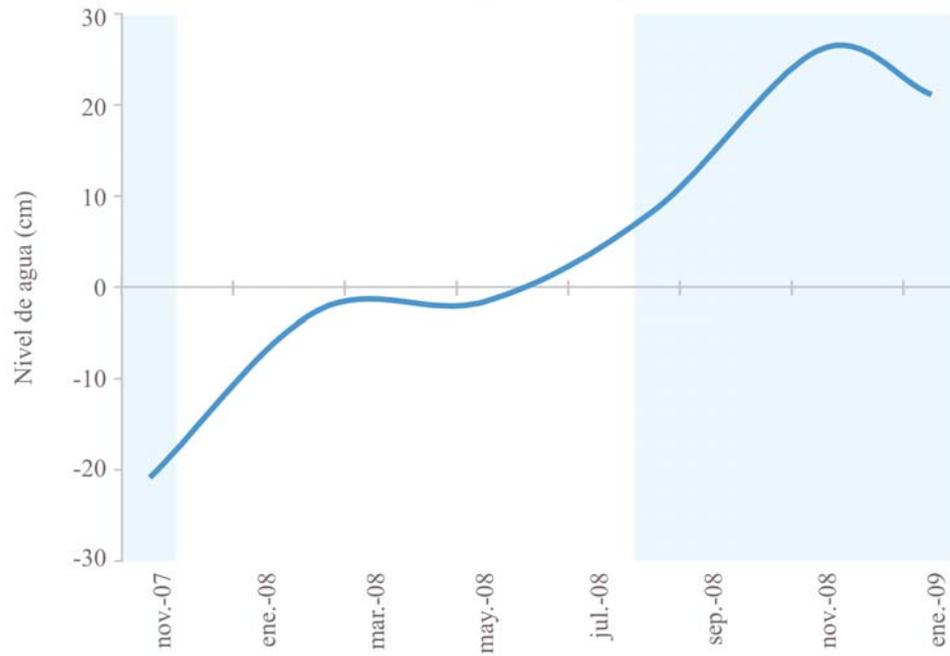
En el manglar más característico donde el mangle negro, el blanco y el rojo dominan, como en el Papaloapan (Acula, Rincón) y en Mandinga, el agua fluctúa estacionalmente (subgrupo 13). Durante las secas el agua baja su nivel y las raíces quedan aireadas, aún las enterradas. El otro grupo de manglares (subgrupo 14) muestra un comportamiento hidrológico más variable, con un período de secas menos pronunciado. Es un comportamiento más parecido al de las selvas más inundables, y ello puede deberse a que en la composición florística hay poca presencia de mangle negro (*Avicennia germinans*) y en cambio hay bastantes cuadros con zapote reventador (*P. aquatica*). Es una especie frecuente en los manglares y hacia el extremo más dulce, donde los valores de salinidad decrecen, permanece el zapote y las especies de mangle van desapareciendo permitiendo la entrada de otras especies características de selvas inundables (Moreno-Casasola e Infante-Mata, 2010; Infante-Mata *et al.*, 2012; Moreno-Casasola *et al.*, 2012). Por ello, se ha propuesto que la distribución del zapote reventador se considere como el límite que permita delimitar la extensión o superficie que cubre el manglar en las zonas costeras de México (Infante-Mata *et al.*, 2014).



Nivel medio de agua en el palmar El Yagual



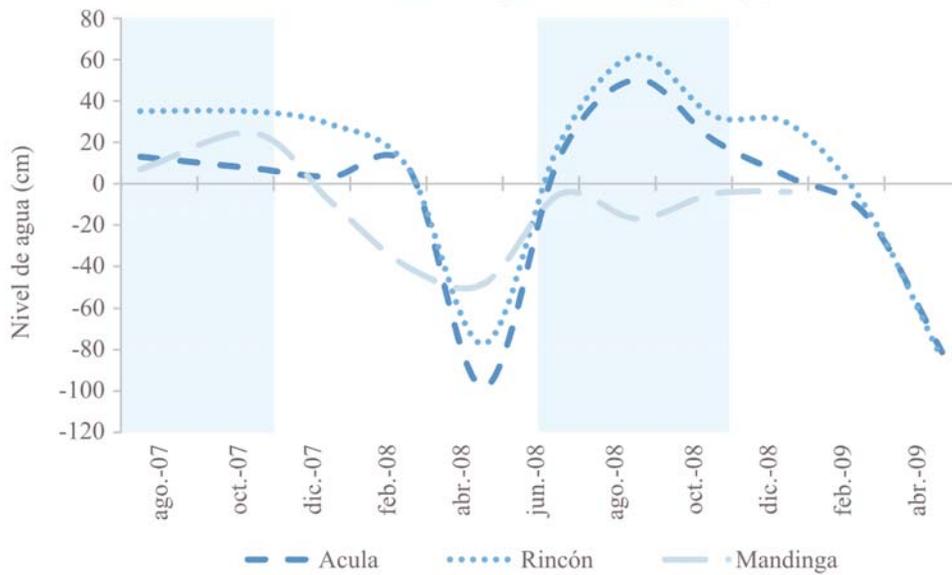
Nivel medio de agua del manglar de Galindo

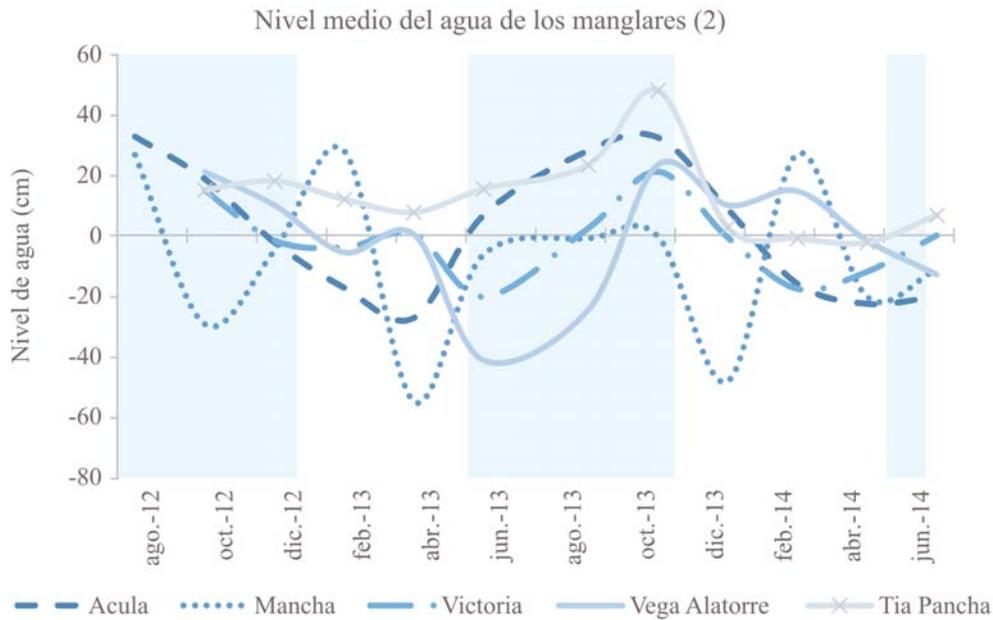


Nivel medio del agua en las selvas inundables más húmedas



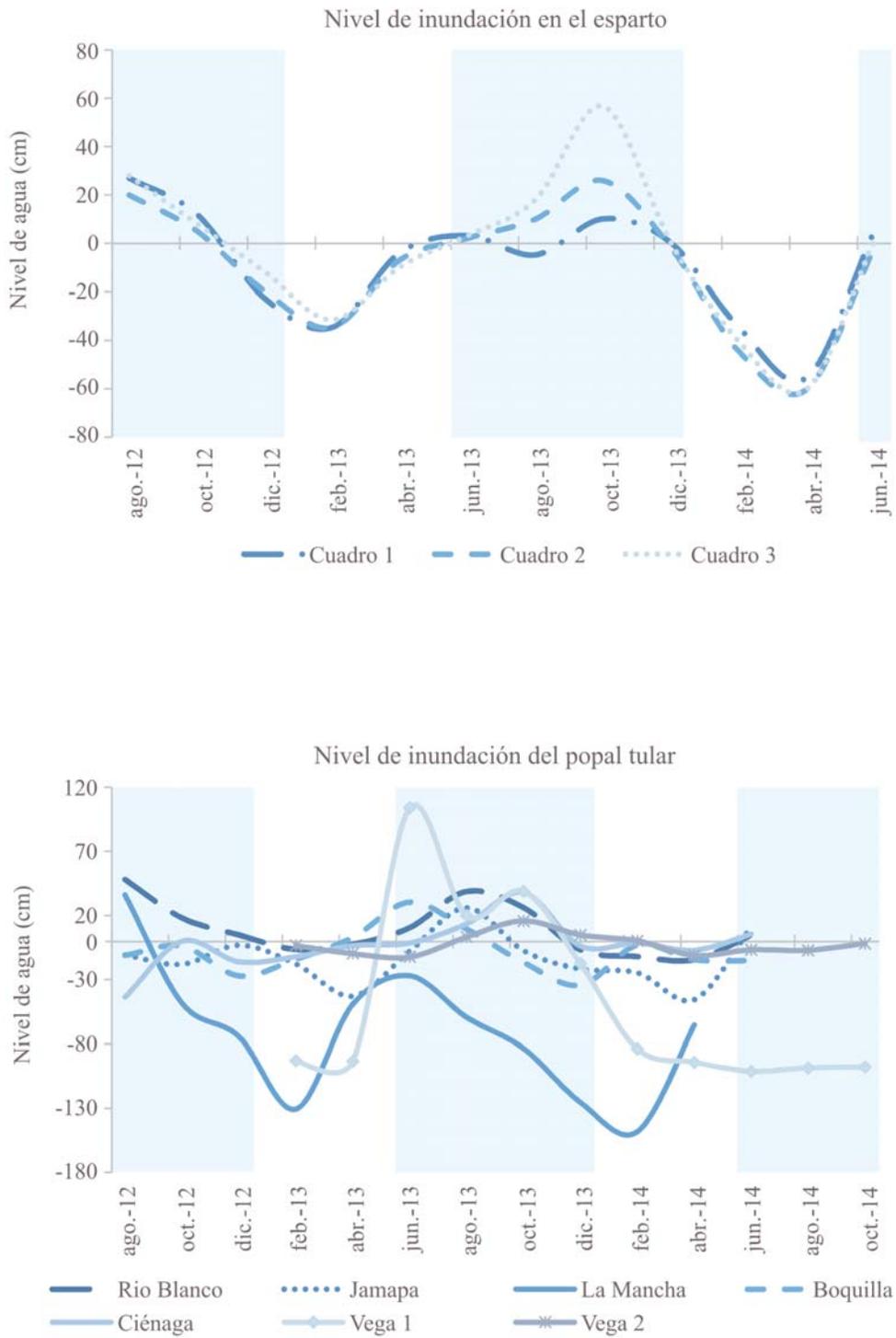
Nivel medio del agua en los manglares (1)





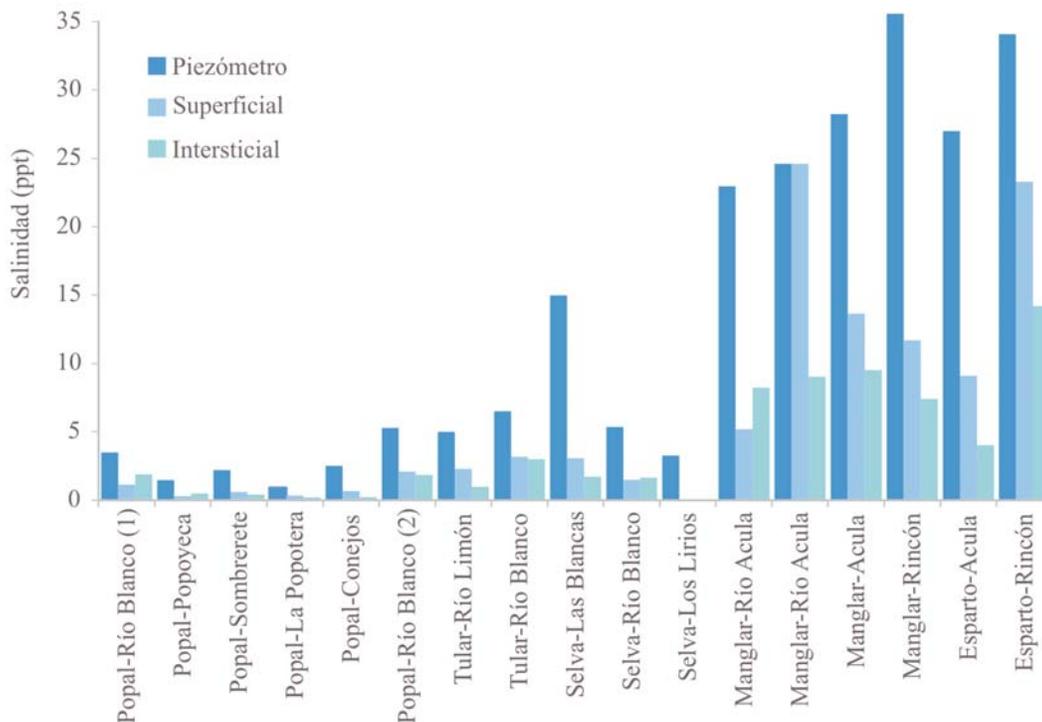
**Figura 33.** Fluctuación del nivel del agua (hidroperíodos) de los cinco grupos de humedales arbóreos registrados en Veracruz. Se muestran sombreados los períodos de lluvia.

El hidroperíodo de los humedales herbáceos también es muy variable, al igual que el de los humedales arbóreos (Moreno-Casasola *et al.*, 2010). En esta sección se muestran dos ejemplos, uno es el espantal de *Spartina patens* localizado en el Papaloapan y el otro es de varios tulares y popales (Figura 34). El espantal es más estacional con un período en que el agua baja y las raíces quedan en condiciones de baja cantidad o aún falta de oxígeno (anoxia). Una diferencia importante en esta comunidad es la salinidad. En el campo, los humedales de agua dulce con mucha frecuencia se encuentran mezclados por lo que se consideran como popales-tulares y tienen composiciones florísticas muy distintas. Algunos permanecen inundados todo el año o gran parte del año (Ciénaga, Río Blanco y uno de los ejemplos en Vega, a la orilla de Laguna Chica y Grande), lo que representa condiciones estresantes para las plantas y en este sentido se parece el hidroperíodo de algunas selvas inundables. El de Boquilla es algo más estacional, y sobre todo el de La Mancha y el otro de Vega. Ello muestra que aún en el mismo sitio, como por ejemplo alrededor de la Laguna Grande y Chica, hay zonas donde el humedal es más estacional y otras donde permanece inundado, en función de la topografía y de su ubicación particular.



**Figura 34.** Gráficas mostrando la fluctuación del nivel del agua (hidroperíodo) de los humedales herbáceos (esparto y popal-tular) de Veracruz. Se muestran sombreados los períodos de lluvia.

La salinidad es un factor ambiental importante que influye en la distribución de los humedales de Veracruz. La salinidad se midió en el agua superficial, en el agua intersticial es decir la que está en los poros del suelo a la altura de las raíces de las plantas y en el agua del manto freático. Estas tres mediciones permiten ver las condiciones del agua superficial que baja por los ríos y la del agua subterránea, aquella que entra tanto por influencia de las mareas mostrando hasta donde tiene impacto la cuña salina y también por el manto freático que baja subsuperficial desde terrenos más elevados. El agua intersticial indica las condiciones del agua que las plantas están tomando por las raíces y usando para sus funciones fisiológicas y también representa la percolación del agua superficial, y la del manto freático y/o la cuña salina cuando penetra. La Figura 35 muestra los promedios anuales de las tres fuentes de agua en distintos tipos de humedales. El popal es la comunidad que se establece en las zonas de agua dulce tanto superficial como en el manto freático. El tular también se establece en zonas de agua dulce pero es ligeramente más tolerante a niveles bajos de salinidad en el manto freático y por ello frecuentemente se encuentra en zonas más cercanas a la costa que los popales. Las selvas inundables, sobre todo las dominadas por el zapote reventador, toleran algo más de salinidad y por eso frecuentemente son la comunidad que forma gradientes de salinidad con el manglar, estableciéndose en las zonas más dulces. Finalmente el manglar y el esparto son los más tolerantes a la salinidad. El agua intersticial oscila entre el agua dulce y la salobre y el agua realmente salina es la del manto freático, es decir las más profunda.



**Figura 35.** Salinidad en el agua del manto freático (piezómetro), intersticial y superficial en los distintos tipos de humedales arbóreos y herbáceos.

### Conservación y restauración de los humedales

La conservación y restauración de estos ecosistemas es de gran valor para la sociedad, por la cantidad e importancia de los servicios ecosistémicos que proporcionan, como puede apreciarse a lo largo del presente libro. Sin embargo hoy en día su situación es muy precaria. Los manglares se conservan por un lado debido a que las comunidades de pescadores han reconocido su importancia como zonas de refugio y alimento de peces y lograron que se valoraran y respetaran localmente en varias regiones. Sin embargo, si no fuera por la legislación que los protege y ha evitado su sustitución por desarrollos hoteleros y su degradación por actividades ganaderas, hoy en día se verían mucho más afectados. Actualmente Veracruz cuenta con una superficie de 36,273 ha de manglares. Sin embargo, el manglar dominado por el botoncillo (*Conocarpus erectus*) casi ha desaparecido al ser sustituido por pastizales ganaderos, ya que ocupaba la zona más seca y menos salina de este tipo de humedal (López-Portillo *et al.*, 2010).

Las selvas inundables se encuentran entre las más afectadas, sobre todo las que permanecen menos tiempo inundadas. Han sido taladas para convertirlas en potreros, obteniendo en primer lugar madera, en segundo suelos fértiles con una buena capa de materia orgánica que mantiene vegetación nativa o introducida que proporciona alimento al ganado manteniendo la humedad sobre todo durante la época seca. En este sentido los palmares constituyen relictos de humedales que llegaron a tener distribuciones mucho más amplias y que hoy en día han sido también potrerizados, dejando con frecuencia las palmas de pie debido a su utilidad para los pobladores locales (Capítulo X). Las selvas que se inundan más tampoco se han respetado. Queda mayor superficie remanente alrededor de los manglares indicando su distribución anterior (Infante-Mata *et al.*, 2014) pero han desaparecido de las planicies de inundación de todos los ríos de Veracruz. Han sido sustituidos por potreros, cañaverales drenados y ciudades, con los consecuentes desastres que ello ha traído. Es un ecosistema en peligro de desaparecer de Veracruz.

Los humedales herbáceos han sido menos alterados ya que pueden ocupar condiciones de inundación permanente por lo que drenarlos ha sido más difícil, sin embargo la mayoría presentan ganado por lo menos una parte del tiempo (Rodríguez Medina y Moreno-Casasola, 2013; Moreno-Casasola *et al.*, 2014).

El programa de Reservas de Agua instrumentado por CONAGUA y por WWF es un instrumento de gran valor para la gestión del agua y para la conservación de humedales. Como ejemplo de ello, en la gran cuenca del Papaloapan conformada por las cuencas hidrológicas del Río Jamapa-Cotaxtla, Río Blanco, Río Papaloapan, Río Valle Nacional, Río Grande, Río Playa Vicente, Río Tesechoacán, Río Trinidad, Río San Juan y Llanuras de Papaloapan se aplicó la Norma Mexicana de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012).

La definición de caudal ecológico es la cantidad, calidad y variación del gasto o agua reservada para preservar servicios ecosistémicos, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales. Para su determinación, es necesario contar con registros históricos de estaciones hidrométricas, las cuales registran el gasto diario (volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa por una sección del cauce del río donde se ubica dicha estación. La gráfica de tiempo contra caudal se le conoce como hidrograma, el cual es característico del río y representa su comportamiento. A través de su análisis es posible identificar los caudales mínimos, máximos, promedios, así como aplicar metodologías hidrológicas para obtener los caudales ordinarios, de avenidas y los pulsos de inundación, los cuales se pueden relacionar con el funcionamiento ecohidrológico como es el mantenimiento de la vegetación riparia a los lados del río y los humedales de la planicie de inundación en la cuenca baja.

En la Figura 36 se presenta el hidrograma representativo para años húmedos, medios, secos y muy secos de la cuenca del río Papaloapan. Con esta gráfica se puede identificar en qué rango están variando los caudales en el río e identificar la época de secas y lluvias. Por ejemplo para un año medio, en septiembre se puede esperar un caudal de 250 m<sup>3</sup>/s en marzo y de 800 m<sup>3</sup>/s en septiembre. Esta variación de caudal mensual es lo que se conoce como régimen y para que un río se considere natural se debe continuar con esta variación y mantenerla.

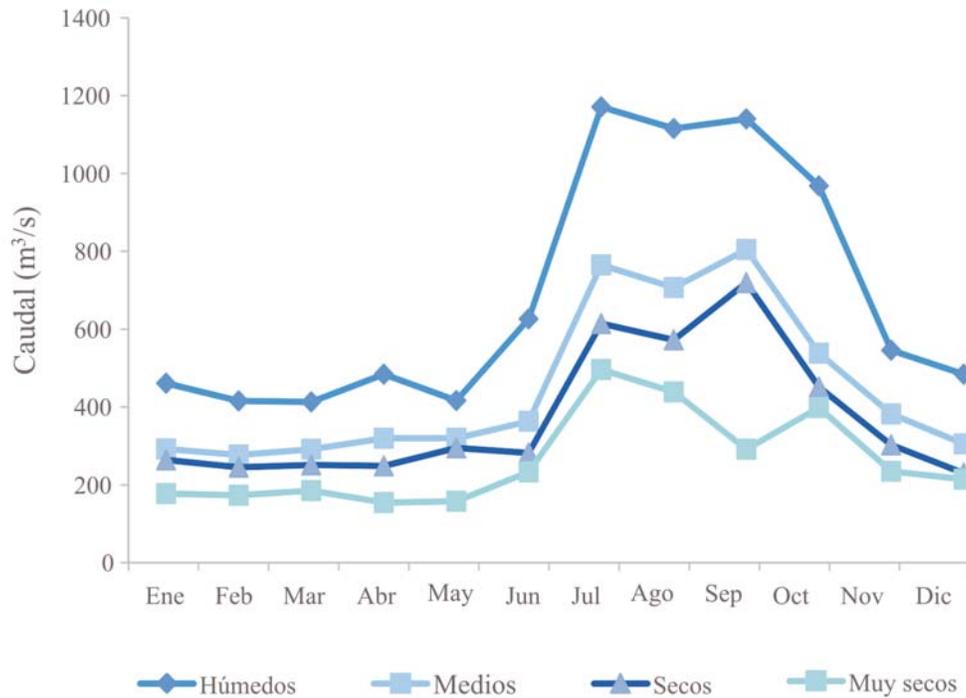


Figura 36. Caudales ordinarios en años lluviosos, años con precipitación media, años secos y muy secos en la cuenca del Papaloapan.

El análisis de avenidas se realiza para identificar los eventos máximos que pueden provocar desbordamiento del río y por consecuencia inundaciones. Para fines ecológicos se deben conservar las avenidas anuales, intra-anales y cada 5 años, que corresponden a los períodos de retorno (Tr) de 1, 1.5 y 5 años. Es decir, en un período de 10 años se debe permitir que ocurran 10 avenidas con un período de retorno de 1 año, 6 avenidas con un Tr de 1.5 años y 2 avenidas con un Tr de 5 años. Con estas magnitudes y si se conoce la geometría del cauce (realizado por topobatimetría), se puede aplicar una modelación hidráulica para obtener el tirante esperado para cada magnitud (Figura 37).

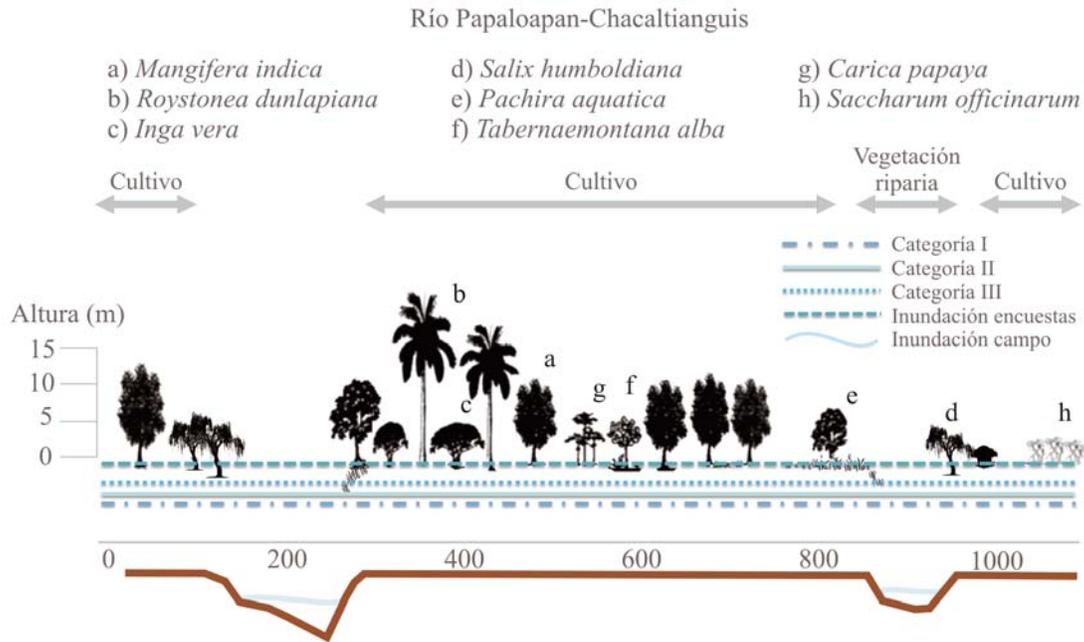


Figura 37. Tirantes de inundación para avenidas de los períodos de retorno de 1, 1.5 y 5 años, en una sección del río Papaloapan, específicamente en Chacaltianguis.

Con base en el análisis hidrológico y de avenidas, se realiza la interacción con los grupos ecológicos funcionales del río y se propone un volumen de reserva de agua, para secas y lluvias. Esto permitirá a los gestores de recursos tener herramientas para saber cuál es el caudal necesario que se debe conservar en estiaje y lluvias, así como proponer un mejor uso de suelo que permita avenidas con períodos de retorno de cinco años, las cuales también están asociadas a la delimitación de la zona federal, y de manera muy importante a la conservación de los humedales. Como se muestra en la Figura 37, la inundación es lo que mantiene con vida los humedales herbáceos y arbóreos de la planicie de inundación.

Los resultados de las cuencas hidrológicas del Papaloapan muestran que se debe conservar un volumen de caudal ecológico que permita conservar el régimen del río, y no interfiere con la extracción que actualmente tiene la cuenca (Figura 38).

Las proyecciones para 2080 indican que el 5-20% de los humedales costeros se perderán debido a la elevación del nivel del mar (Nicholls, 2004). En la costa del Golfo de Estados Unidos, las islas de barrera, las dunas y bancos de arena, los humedales herbáceos y arbóreos de agua dulce y salobre amortiguan significativa el impacto del viento, de las olas y la marea de tormenta generada por los huracanes y tormentas tropicales (Grupo de Trabajo para la planificación post-huracán de la costa de Louisiana). Por tanto a raíz de las inundaciones producidas por el huracán Katrina en Nueva Orleans, se ha considerado como una opción de manejo costero la restauración de los humedales e islas de barrera para ayudar a proteger esta ciudad.

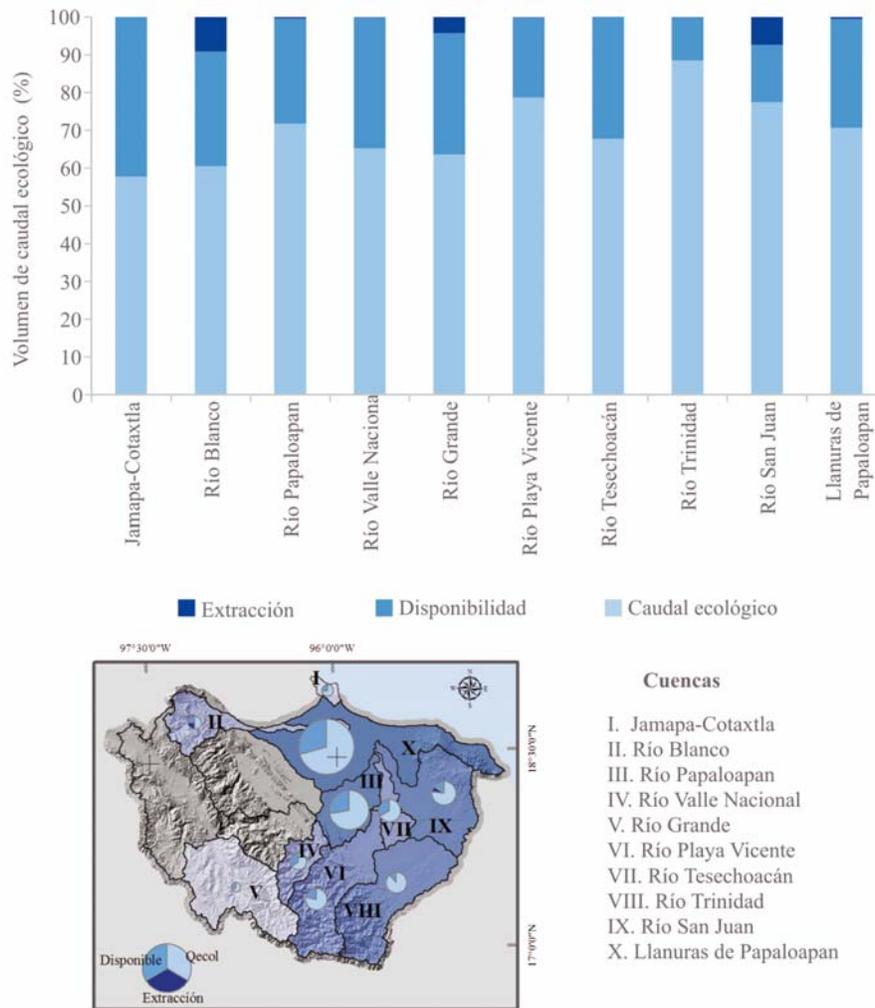


Figura 38. Porcentaje de reserva de agua (caudal ecológico =  $Q_{ecol}$ ) de las cuencas hidrológicas del Papaloapan.

Existen en México algunas experiencias de restauración, sobre todo de manglares, donde se ha hecho énfasis en la recuperación de los flujos de agua en el manglar. Sin embargo, existen aún muy pocos esfuerzos de restauración de humedales de agua dulce. En la zona de La Mancha (Actopan) se ha recuperado un popal (López-Rosas *et al.*, 2010) que se había perdido debido a la introducción de un pasto forrajero exótico africano, conocido como pasto alemán (*Echinochloa pyramidalis*), el cual fue eliminando a la vegetación nativa del humedal (López-Rosas *et al.*, 2006), produciendo tanta materia orgánica que fue elevando el nivel del suelo y desecando el humedal (López-Rosas y Moreno-Casasola, 2012). Recientemente se acaba de iniciar un proyecto impulsado por CONAFOR para restaurar la selva inundable de zapote reventador de Ciénaga del Fuerte, la cual ha sido talada y posteriormente invadida también por el pasto alemán, por pastos nativos de humedales (*Leersia* spp.) y por varias trepadoras (*Ipomoea* spp., *Dalbergia browni*), que crecen con tal densidad que llegan a doblar y tirar los árboles. Estos procesos se han visto además favorecidos por el impacto de los huracanes.