

# ASPECTOS ECOLÓGICOS DE LOS MANGLARES Y SU POTENCIAL COMO FITORREMIEDIADORES EN EL GOLFO DE MÉXICO

RAHIM FOROUGHBAKHCH P.\*, ABIMAE E. CÉPEDES C.\*\* MARCO A. ALVARADO V.\*,  
ADRIANA NÚÑEZ G.\*, MOHAMMAD H. BADIH\*

Los manglares son ecosistemas naturales valiosos que enfrentan alteraciones severas, como la contaminación por descarga de aguas residuales y la sobreexplotación de productos derivados de dichos ecosistemas, que afectan su estructura, funcionamiento y existencia. Uno de los principales factores de este deterioro es el uso irracional de los recursos naturales que provoca la pérdida de la diversidad biológica, así como sus formas de vida, cuyas causas más probables son la alteración y pérdida del hábitat, el sobrepastoreo, la introducción de especies y enfermedades, así como la contaminación y el cambio climático.<sup>1,2,3</sup> La amenaza del cambio climático sobre los manglares parece ser real,<sup>4</sup> pues estos ecosistemas se encuentran en la línea frontal del fenómeno debido a su ubicación en las franjas costeras tropicales del mundo, donde la elevación en el nivel del mar es de aproximadamente 6 cm por década, aunado al aumento en la frecuencia y poder de los huracanes, patrones de lluvia y escurrimientos, así como períodos de sequía e incendios que erosionan y destruyen los manglares.<sup>5</sup>

Los manglares del Golfo de México ocupan las márgenes de las lagunas costeras de la cuenca baja de la desembocadura del Río Pánuco, así como los esteros, lagunas interdunales y marismas aledañas, constituyendo un manglar intermedio entre los del sur y del norte, que influyen directamente en gran parte del comercio pesquero de Tampico, así como en la situación económica de los pescadores ya que la madera del mangle se utiliza para construir habi-



taciones, cimbras, cercos, artes de pesca, muelles y leña. Además, los manglares son el hábitat natural de la fauna acuática y desempeñan un papel importante como fitorremediadores de contaminantes presentes en el agua.<sup>6,7,8</sup>

## Área de estudio

El área de estudio (figura 1) se localiza entre los 22° 10' y 23° 18' latitud Norte y los 97° 40' y 98° 03' longitud Oeste, comprendiendo los manglares del sureste de Tamaulipas, incluyendo de norte a sur, la Laguna de San Andrés, el Estero Garrapatas, la Laguna del Carpintero y la Laguna La Costa, y en el norte de Veracruz la Laguna Pueblo Viejo (tabla I).

La temperatura promedio anual es de 25.1°C con una precipitación promedio de 1029 mm. El

\* Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Para correspondencia: E. mail: rforough@fcb.uanl.mx Tel/Fax 5281-8114 3465

\*\* Universidad del Noreste, Tampico, Tam., México.



Fig. 1. Mapa de localización del área de estudio

suelo del área de estudio corresponde a los regosoles éutricos, arenosos, salino-sódicos en la zona inundable de marismas de la laguna de San Andrés hasta solonchak órtico arcilloso en el norte de Veracruz.<sup>9,10</sup>

Oceanográficamente el área lagunar recibe influencia del mar a través del Río Pánuco. Las cuencas lagunares presentan una profundidad promedio de 2.5 m, siendo más someras en las márgenes, en los puntos que reciben aluvión de los escurrimientos urbanos y en los rellenos marginales que se han realizado.<sup>11</sup>

## Metodología

Se seleccionaron diez sitios, en los que se efectuó un inventario sobre las especies existentes, realizando así un análisis sobre la diversidad biológica mediante la determinación del índice de diversidad de

Shannon.<sup>12,13</sup> En cada sitio se registraron los parámetros de crecimiento y la densidad vegetal en los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, utilizando un muestreo sistemático uniforme en cuadrantes de 100 m<sup>2</sup>, perpendiculares al gradiente mareal. De igual manera se aplicó un análisis de afinidad de los sitios (Sörensen). Se determinaron también cocientes de comunidad, tales como: abundancia, frecuencia, densidad y valor de importancia; y la composición florística de las asociaciones mediante el uso de la escala de cobertura-abundancia de Braun-Blanquet según Müller-Dombois y Ellenberg.<sup>14</sup>

Para conocer la fitoextracción de metales pesados por diferentes órganos vegetales del mangle, se consideró la producción forestal (volumen de madera y densidad de individuos/ha). Con base en la información sobre la biomasa anual en un sitio dado sujeto a descargas del río Tamesí, se calculó el volumen de descarga tomando en cuenta el registro diario de los aforos,<sup>10</sup> especialmente los que estuvieron por encima de la cota de los 1.20 msnm, debido a que es la altura del dique a la cual el canal descarga sus aguas sobre el manglar.

Por espectrofotometría de absorción atómica se determinó el contenido de metales pesados en el agua, en los sedimentos a la entrada del manglar y en el follaje y la madera de los mangles cosechados para determinar biomasa utilizando el modelo de Mitsch y Goselink.<sup>11</sup>

## Resultados y discusión

En los sitios de estudio se determinaron cuatro agru-

Tabla I. Características de sitios de manglar en el límite tropical del Golfo de México.

Sitio / coordenadas	Régimen / hidráulico		Extensión (km <sup>2</sup> )	Rasgos socioeconómicos
	Agua dulce	Agua marina		
<b>Laguna San Andrés</b> 22° 45' LN, 97° 40' LO	Barberena Chaverría Tigre (II, VO)	Boca	130.0	Pc. Po. Am. Pm
<b>Estero Garrapatas</b> 22° 28' LN, 97° 53' LO	Cuenca (VO) Interrumpida	Río	5.0	Am. Fh. Ca.
<b>Laguna del Carpintero</b> 22° 14' LN, 97° 51' LO	Cuenca (VO) Pánuco (I)	Río	86	Fh. Ca.
<b>Laguna La Costa</b> 23° 18' LN, 97° 51' LO	Ríos Pánuco y Pánuco (I) Tamesí (II)	Río	36.4	Pc. Po. Am. Pm. Fh. Ca.
<b>Laguna Pueblo Viejo</b> 23° 13' LN, 98° 03' LO	Estero Tamacuil, Pánuco (I)	Río	95.3	Pc. Po. Am. Pm. Fh. Ca.

Pc. Pesca comercial, Po. Pesca ostión, Am Zonas de alimentación de aves migratorias, Pm Pastizales marinos, Fh Fragmentación del hábitat, Ca Contaminación acuática.

(I) Permanente, (II) Intermitente

Presencia del mayor Flujo: (IP) Invierno-primavera, (VO) Verano -otoño

paciones botánicas en función de sus afinidades con el hábitat, siendo estas: cuatro especies de mangle (*Rhizophora mangle*, *Avicenia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*), ocho especies halófitas, cuatro halotolerantes y dos glicófitas.

En la tabla II se observan los resultados del índice de diversidad de Shannon para el estrato arbóreo en tres de las lagunas estudiadas, observando la mayor diversidad en la Laguna del Carpintero ( $H = 0.51$ ). Los resultados del índice de afinidad de Sørensen (tabla III) varían de 0.154 (Laguna del Carpintero y Estero Garrapatas) a 0.667 (para las Lagunas del Carpintero y La Costa).

Fisionómicamente los manglares muestran una disminución en altura de norte a sur, y en todos los casos ésta es superior a los 4 m referidos por Lot-Helgueras<sup>17</sup> y Cintron Shchaffer-Novelli<sup>18</sup> para los manglares localizados en la desembocadura del Río Pánuco. *A. germinans* presenta un descenso en la abundancia de norte a sur, mientras que *L. racemosa* presenta una situación inversa, mostrando un descenso en la altura en el gradiente latitudinal hacia el norte. De acuerdo a los resultados, la dominancia de las especies es diferente en cada uno de los sitios, aunque en términos generales, la mayor dominancia en cuanto a densidad y valor de importancia corresponde a *L. racemosa* (tabla IV).

La evaluación de lotes *in situ* de madera revela que *L. racemosa* es la especie que presenta mayor aprovechamiento, con una altura de fuste de  $3.12 \pm 0.12$  a  $3.90 \pm 0.23$  m y un diámetro basal de  $6.4 \pm 0.74$  a  $10.38 \pm 2.8$  cm. La extracción de madera se efectúa en función directa de la densidad y por lo tanto, está relacionado con diámetros de interés, concentrándose hacia el borde extremo

del manglar donde el bosque es más joven y denso (DAP = 7.5 cm), representando el 23.5% de la densidad total.

Tomando en cuenta el peso fresco de las muestras de troncos, se determinó que la densidad específica de la madera es de  $952.9 \text{ kg/m}^3$ , generando  $3.29 \text{ g/m}^2/\text{día}$ , demostrando que la extracción calculada corresponde a la cosecha anual de la zona estudiada. Los resultados indican que la demanda anual de varas para la construcción de la charanga es mayor (147 000 unidades) que la demanda de madera para elaboración de carbón vegetal y construcción de viviendas.

Las concentraciones observadas de los metales analizados pusieron en evidencia que el plomo es el metal con mayor concentración en diferentes componentes del ecosistema del manglar (tabla V). Los metales plomo, cromo y cadmio presentan una alta concentración en el sedimento, el cual actúa como una trampa que facilita el depósito de metales pesados en el manglar cuando se precipita en las inmediaciones de la raíz. Las raíces de especies de mangle, principalmente *Laguncularia racemosa* y *A. germinans*, desempeñan un papel principal como biofiltros naturales en la absorción de metales pesados, seguidas por los troncos y las hojas (tabla V).

Considerando los valores de crecimiento del bosque y el desarrollo del volumen diamétrico, existen relaciones entre los metales pesados y el volumen de la madera con un coeficiente de determinación de 0.92, el cual fue altamente significativo ( $p < 0.01$ ).

La estimación de la capacidad depuradora del plomo por especies de mangle pone en evidencia que el volumen total de la descarga del canal en el período de estudio fue aproximadamente de 351 x

Tabla II. Índice de diversidad de Shannon, del estrato arbóreo de los manglares en el límite tropical del Golfo de México

	Laguna			
	Carpintero	La Costa (I)	La Costa (II)	Estero Garrapatas
<i>R. mangle</i>	9	13	10	30
<i>A. germinans</i>	23	15	12	26
<i>L. racemosa</i>	27	40	116	63
<i>C. erectus</i>	7	6	10	15
Total Individuos	88	53	126	45
Diversidad Observada	0.51	0.24	0.12	0.27
Índice de Diversidad (%)	73.00	80.00	40.00	90.00

Tabla III. Índice de afinidad (Sørensen, 1948) entre los sitios con manglar en el límite tropical del Golfo de México

	Laguna del Carpintero	Laguna La Costa	Estero Garrapatas	Laguna Pueblo Viejo	Laguna San Andrés
Laguna Carpintero	1.000	3	1	2	2
Laguna La Costa	0.667	1.000	2	4	2
Estero Garrapatas	0.154	0.500	1.000	4	5
Laguna Pueblo Viejo	0.286	0.615	0.471	1.000	5
Laguna San Andrés	0.308	0.333	0.375	0.588	1.000

Tabla IV. Parámetros de crecimiento de especies en ecosistema de manglar del Golfo de México

Sitio/especie	Abundancia	Altura (m)	Diámetro (cm)	Dominancia	Frecuencia %	V.I.%
Laguna San Andrés:						
<i>A. germinans</i>	5	3.5	12.0	62.3	50	63.2
<i>R. mangle</i>	2	2.8	3.2	52.4	45	42.3
<i>C. erectus</i>	1 <sup>a</sup>	2.3	4.3	43.7	50	36.8
Estero Garrapatas						
<i>R. mangle</i>	5	5.3	12.1	66.7	60.2	66.6
<i>C. erectus</i>	2	4.2	6.6	33.7	39.8	33.4
Laguna del Carpintero						
<i>L. racemosa</i>	5	5.9	5.3	30.6	30	38.6
<i>A. germinans</i>	2	6.2	4.5	26.1	30	30.4
Laguna La Costa						
<i>L. racemosa</i>	5	4.9	4.9	75.4	66.6	71.2
<i>A. germinans</i>	2	8.9	8.6			
<i>R. mangle</i>	2	10.6	10.6	24.5	33.3	28.7

V.I = Valor de importancia

Tabla V. Concentración de algunos metales pesados (ppm) en diferentes componentes de un manglar de *L. racemosa* en la Laguna La Costa, Tampico, Tamaulipas, México

	Componentes del manglar					
	Sedimento	Agua	Raíces	Tronco	Ramas	Hojas
Plomo (ppm)	28.57	0.021	13.84	7.28	3.72	5.77
Cromo (ppm)	40.27	0.110	5.15	1.36	0.38	0.94
Cadmio (ppm)	2.82	0.090	0.97	0.44	0.32	0.60

$10^6 \text{ m}^3$ , y la concentración encontrada de plomo es de 0.021 mg/L, entonces el vertido de este metal puede ascender a 7.38 kg disueltos en esa descarga sobre el manglar, parte del cual es fijado por esta especie en las raíces, la madera y las hojas de las especies del mangle (tabla VI).

## Conclusiones

De las cuatro especies de mangle, *L. racemosa* es la más importante económica y ecológicamente, debido a que es la que ocupa mayor extensión y alcanza mayor fijación de contaminantes (metales pe-

sados), seguida por *A. germinans*, *R. mangle* y *C. erectus*. La vegetación existente en el ecotono contribuye al proceso de reclutamiento, funcionando como una barrera de protección contra la destrucción mecánica. El sistema actual de aprovechamiento de la madera para charanga afecta la conservación y estabilidad de los bosques, lo que se refleja en una pérdida de recursos forestales potenciales de hasta un 70%.

Tabla VI. Concentración de plomo en hojas y ramas, y capacidad depuradora del manglar de *L. racemosa* en la Laguna La Costa, Tampico, Tamaulipas, México.

Parámetro	Valores
D.A.P. promedio basal (cm)	8.73
Peso estimado del D.A.P. promedio (Kg)	28.29
Biomasa total acumulada (kg/ha)	120,337.17
Concentración Pb en hojas (ppm, base seca)	5.77
Concentración Pb en ramas (ppm, base seca)	3.72
Concentración Pb total (mg/kg)	9.54
Concentración neta de Pb fijado (mg/kg)	0.48
Pb Total acumulado en biomasa total (Kg/ha)	1.15
Pb total extraído por la biomasa total (kg/ha)	0.05

D.A.P. Diámetro a la altura de pecho

Los manglares sin duda pueden utilizarse como agentes de remediación, son biofiltros naturales en sitios contaminados con metales pesados, especialmente porque estos compuestos quedan fijados en la biomasa de las raíces y la madera, manteniendo una baja recirculación, en comparación con otras especies herbáceas.

## Resumen

El propósito de la presente investigación fue determinar la capacidad de descontaminación de las especies de mangle en las localidades de las lagunas de San Andrés, del Carpintero, La Costa, Pueblo Viejo y Estero Garrapatas, en Tampico, Tamaulipas. Se determinó la dinámica de las especies de manglar; índices ecológicos de Shannon y Sørensen, producción forestal y explotación, además del contenido de algunos metales pesados en cada uno de los sitios. Las especies dominantes y su altura promedio fueron *Rhizophora mangle* (3-13 m),

*Laguncularia racemosa* (6-8 m), *Avicenia germinans* (6-13 m) y *Conocarpus erectus* (<2 m), siendo *A. germinans* y *L. racemosa* las especies más explotadas, con mayor dominancia, densidad y valor de importancia (71.2%), seguida de *R. mangle* (66.6%). Los metales pesados obtenidos en los sedimentos fueron cadmio (2.82 ppm), plomo (28.57 ppm), y cromo (40.27 ppm). El contenido de plomo en base seca encontrado en hojas y ramas de *L. racemosa* fue de 5.77 y 3.72 ppm respectivamente. Estos resultados indican que es posible utilizar los manglares como agentes biorremediadores en cuerpos de agua, ya que los contaminantes son absorbidos por las plantas y fijados en las porciones leñosas.

**Palabras clave:** Fitorremediación, Manglar, Metales pesados, Producción de madera.

## Abstract

The purpose of this research was to establish the decontamination capacity of the mangroves species in the San Andres, del Carpintero, La Costa, Garrapatas and Pueblo Viejo lagoons in Tampico, Tamaulipas. The mangrove's species dynamics and indexes such as of Shannon's diversity, Sørensen's affinity, forestry production, exploitation and the content of some heavy metals were determined at each site. The dominant species were *Rhizophora mangle* (3-13 m), *Laguncularia racemosa* (6-8 m), *Avicenia germinans* (6-13 m) and *Conocarpus erectus* (>2m). *L. racemosa* was the most exploited specie, with the highest dominance, density, and an importance value of 71.2%;. The heavy metals of the sediments were: Cd (2.82), Pb (28.57), and Cr (40.27 ppm). The lead content in leafs and branches (dry basis) of *L. racemosa* was 5.77 and 3.72 ppm respectively. These results indicate that we could use the mangrove as bioremedial agents to reduce the contaminants originated from the discharges of industrial water which are fixed in the woody portions.

**Keywords:** Phytoremediation, Mangrove, Heavy metals, Wood production.

## Referencias

1. Fulai S. 1997. Public Environmental Expenditures: A conceptual framework Macroeconomics for sustainable Development Program Office (MPO).

- World Wide Fund for Nature. <http://www.panda.org/mpo/>. 47 pp.
2. Epstein P.R. 1998. Climate Changes and Health. Harvard Medical School. Center for Health and the Global Environment. Climate Change Campaign, WWF.
  3. Quarto, A. 1999. The mangrove forest. Mangrove Forest Ecology. Working paper, Mangrove action project, USA, 1-12 pp.
  4. Sánchez PH, 1994. Los Manglares de Colombia. In: Suman, D.O. (Ed.) El Ecosistema de Manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: Su Manejo y Conservación. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida y The Tinker Foundation, New York, N.Y. USA. 257 pp.
  5. Stedman-Edwards, P. 1997. Socioeconomic root causes of biodiversity loss: An analytical approach paper for case studies. Macroeconomics for Sustainable Development Program Office. World Wide Fund for Nature. <http://www.panda.org/mpo/>. 1-281 pp.
  6. FAO. 1985. Mangrove management in Thailand, Malaysia and Indonesia. FAO Environment paper N° 4 Rome, Italy, 1-60 pp.
  7. Sherrod, C.L. and C. MacMillan, 1985. The distribution history and ecology of mangrove vegetation along northern Gulf of Mexico Coastal region. Contribution in Marine Science, Vol. 28:129-140.
  8. Sherrod, C.L, D.L. Hokaday and C. MacMillan, 1986. Survival of red mangrove *Rhizophora mangle*, on the Gulf of Mexico. Contribution in Marine Science, Vol. 29:27-36.
  9. INEGI 1982. Cartas de Tampico: Climatología, Topografía, Hidrología Subterránea y Uso de Suelo y Vegetación. SHCP. México.
  10. CNA: Comisión Nacional de Agua 1997. Registros hidroclimáticos de la región de Tampico. Comisión Nacional del Agua, SERMARNAP, México.
  11. Mitsch WJ. and JG. Gosselink, 1993. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
  12. Brower JE y JH. Zar 1977. Fields and laboratory methods for general ecology. W.M.C. Brown Pub. USA. 185 pp.
  13. Zar JH. 1996. Biostatistical analysis. Third edition. Prentice Hall Inc. Englewood, New Jersey, USA. 718 pp.
  14. Müeller-Dombois D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Jhon Wiley and Sons. 547 pp.
  15. SEMARNAP 1999. Norma Oficial Mexicana NOM-Ecol-1999, que establece las condiciones para el manejo, conservación y aprovechamiento del manglar. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, 16 de agosto de 1999, México, D.F.
  16. SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social, 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-Ecol-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres y acuáticos en peligro de extinción. Diario Oficial de la Federación.
  17. Lot-Helgueras A, C. Vázquez-Yanez, y F. Menéndez, 1974. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the gulf coast of Mexico. Rep. from Proceedings in the International symposium on biology and management of mangroves. October 8-11. Honolulu, Hawaii. 1-13 pp.
  18. Cintron G. y Y. Schaeffer-Novelli, 1983. Introducción a la ecología del manglar. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para las América y el Caribe-Rostiac, Montevideo, Uruguay 1-109 pp.