



(Foto: Jorge Morales-Mávila)



---

# RECURSOS HÍDRICOS

## RESUMEN EJECUTIVO

Ana Laura Lara-Domínguez

Veracruz es un estado rico en recursos naturales, abundante agua y una gran extensión territorial. Sus recursos hidrológicos están conformados por una red de cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos agrupados administrativamente en dos Regiones Hidrológicas (Región IX Golfo Norte y Región X Golfo Centro) que fluyen a una amplia planicie costera correspondiente al 73 % (53 155 km<sup>2</sup>) del total del territorio veracruzano, donde se ubican al menos 16 lagunas costeras así como cuatro ríos o estuarios que descargan directamente a la zona marina adyacente, constituida por la plataforma continental, el talud y la llanura abisal.

La amplia red hidrográfica que existe en el estado, determina que el recurso sea accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas, y en el país se sitúa con un alto potencial hidrológico superficial. Se ha estimado que por el estado escurre aproximadamente el 30 % (121 000 hm<sup>3</sup>) del escurrimiento total nacional, destacando, por la magnitud de sus aportaciones,

las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con casi el 14 y 13 %, respectivamente. Asimismo, cuenta con 18 acuíferos con una recarga media anual de 3 085 hm<sup>3</sup>. Esto establece un balance positivo con una oferta potencial de agua de casi 53 273 hm<sup>3</sup>/año (aguas superficiales 50 188 hm<sup>3</sup>/año más la recarga de acuíferos 3 085 hm<sup>3</sup>/año) y una disponibilidad per cápita de 7 058 hm<sup>3</sup>/hab/año siendo ésta una oferta abundante de recursos hidrológicos.

Las lagunas costeras y estuarios, por su ubicación en la planicie costera, se caracterizan por la mezcla de agua dulce proveniente de los ríos y del agua de mar, creando un gradiente de salinidad. Esta propiedad le confiere importantes funciones ya que constituyen reservorios de biodiversidad representados por manglares, pantanos, marismas, vegetación acuática sumergida, que a su vez conforman hábitats de crianza y protección de la fauna acuática salobre, marina y de agua dulce, durante las diferentes etapas del ciclo de vida.

Finalmente, la zona marina del estado ha sido clave para el desarrollo tanto de Veracruz como del país. El litoral del estado tiene una longitud aproximada de 745 km, constituido por costas primarias volcánicas como Los Tuxtlas y costas secundarias formadas por deposición marina como la barra de la Laguna de Tamiahua. El drenaje fluvial que llega a la costa determina las características sedimentarias de la plataforma continental, así como la diversidad de ecosistemas costeros con una gran riqueza de especies.

La zona marina del estado de Veracruz presenta, a diferentes profundidades, masas de agua definidas por sus características de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Es importante resaltar que hasta el momento no se conoce la existencia de una zona de hipoxia, con concentraciones bajas de oxígeno (< 2.0 mg/l), frente a las costas del estado, como ocurre en el norte del Golfo de México en la desembocadura del río Mississippi. Otro rasgo importante en la zona marina es que existe una fuerte estacionalidad de las corrientes de agua, ya que van al sur en el periodo de septiembre a marzo, y hacia el norte en el periodo de mayo a agosto, con un periodo de transición de marzo a abril y de agosto a septiembre.

Debido a que en el estado de Veracruz confluyen aguas procedentes de diferentes estados de la República (México, Hidalgo, Puebla, Oaxaca) en la parte alta de la red hidrológica, de ahí van a la planicie costera y finalmente descargan en el mar, el agua tiene la función primordial de vincular los diferentes componentes del sistema. Por lo que un cambio en la concentración de nutrientes y flujos de energía puede manifestarse en un desequilibrio de los procesos ecológicos que ocurren en los diferentes ecosistemas.

Por ejemplo, los beneficios que la entidad tiene debido a la magnitud del escurrimiento, también afecta a las actividades humanas, ya que aproximadamente el 8 % del territorio está expuesto a inundaciones. Además, la mayoría del sistema hidrológico

muestra algún grado de degradación, siendo la situación de las aguas superficiales la más preocupante.

Las múltiples actividades del hombre, tanto en la zona terrestre como marina, han convertido a esta región de Veracruz en una de las más amenazadas en el Golfo de México. Por otra parte, los fenómenos naturales (ciclones o huracanes, nortes, trombas, lluvias fuertes, entre otros) que ocurren en las costas producen cambios en las características de los ecosistemas marinos y sus componentes.

Las principales fuentes que inducen problemas ambientales a los recursos hidrológicos por las actividades humanas, desde la parte alta de los ríos hasta la zona marina, son:

*Descargas de aguas negras sin tratar.* Contribuyen al crecimiento de microorganismos que determinan que se clasifique como inadecuada calidad del agua debido al elevado índice de coliformes, así como de bacterias patógenas. Esto ha sido exhibido en las lagunas de Tamiahua, Alvarado y del Ostión, ríos Coatzacoalcos y Tonalá y en la zona costera del Puerto de Veracruz. En 2005, el estado contaba con sólo 88 plantas de tratamiento de aguas, de las cuales el 28 % está en operación, por lo que la cobertura de saneamiento del agua es tan sólo del 11.4 %.

*Descargas y escurrimientos de compuestos químicos (biocidas).* Se emplean para aumentar la producción agropecuaria y eliminación de plagas domésticas. Tanto la naturaleza y magnitud del impacto dependerán de los compuestos activos y el ambiente, nivel de la cadena trófica donde incide y la edad de los organismos. Estas descargas de la agricultura son una fuente difusa de contaminación del subsuelo, de las aguas freáticas y de las aguas superficiales. Además de esto, no existe una política de optimización del uso del agua en Veracruz, por ejemplo, en agricultura aún se continúa empleando el sistema de riego de canales a cielo abierto, además tanto parcelas como canales no están revestidos por lo que el excedente de agua se infiltra arrastrando los agroquímicos que se utilizan en esta actividad.

La descarga de aguas residuales industriales representa una fuente de contaminación puntual de efectos muy severos. Entre las industrias que más contribuyen en la entidad se encuentran los beneficios de café, beneficios azucareros, alcoholeras, papeleras, industrias petroquímica y química. Las descargas industriales provenientes de la actividad petrolera están determinando que las concentraciones del petróleo y sus derivados sean altos en sedimentos en la zona costera en comparación con los oceánicos, así como los que se encuentran dispersos en la zona marina, principalmente en las áreas con intenso tráfico marino. Hasta el momento los niveles de hidrocarburos en peces y crustáceos son bajos, pero es una alerta para evitar que aumenten y lleguen a ser tóxicos. Por otro lado, se han registrado metales pesados en las descargas de la industria papelera y los efectos en los seres vivos varían de acuerdo a las especies y condiciones ambientales donde se encuentren.

Para el uso sustentable del recurso agua en el estado de Veracruz es necesario tener una visión integral, definiendo a la cuenca como la unidad geográfica en la que ocurren la mayor parte de las fases del ciclo hidrológico de interés humano, por lo que se requiere entender los procesos de los ecosistemas que la conforman y operan dentro de ella. Mejorar el conocimiento de los procesos ecosistémicos es esencial para gestionar y salvaguardar los recursos hidrológicos y naturales del estado. Este conocimiento será también importante para desarrollar modelos destinados a comprender fenómenos complejos como, por ejemplo, los relacionados con el cambio climático. Los modelos que se generen serán herramientas preventivas para mitigar las posibles consecuencias de modificaciones ambientales de gran magnitud que pueden interferir con los procesos productivos actuales.



# Hidrología



Octavio Pérez-Maqueo  
Lyssette Muñoz-Villers  
Gabriela Vázquez  
Miguel Equihua Zamora  
Pedro León Romero

## RECURSOS HÍDRICOS

La Comisión Nacional del Agua (CNA) ha dividido al país en Regiones Hidrológico-Administrativas<sup>1</sup>, de las cuales dos involucran a Veracruz: la región IX Golfo Norte<sup>2</sup> y la X Golfo Centro<sup>3</sup>. Sin embargo, para fines de gestión estatal resulta apropiado usar la regionalización hecha en la Ley de Aguas del estado de Veracruz que reconoce cinco regiones: Bajo Pánuco, Norte de Veracruz, Centro de Veracruz, Papaloapan y Coatzacoalcos. La figura 1 muestra la

localización de estas regiones y su relación con las Regiones Hidrológico-Administrativas de la CNA, y el cuadro 1 resume sus principales características.

## ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

La red hidrográfica del estado está conformada por cientos de ríos perennes, intermitentes y arroyos, lo que constituye el recurso más accesible e importante para satisfacer las necesidades humanas. El potencial

<sup>1</sup> Las regiones hidrológico-administrativas están conformadas por los municipios completos que en mayor proporción quedan dentro de las cuencas que conforman a cada región. En mayo de 1998 fueron publicados en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) los municipios que conforman cada una de las 13 regiones hidrológico-administrativas, y en octubre de 2000 fueron publicados algunos ajustes a esta regionalización (CNA, 2001).

<sup>2</sup> La Región Administrativa IX Golfo Norte cubre una extensión de 127 138 km<sup>2</sup>, que representa 6.5% del territorio nacional. Está conformada por 154 municipios: 40 de Hidalgo, 36 de San Luis Potosí, 30 de Tamaulipas, 23 de Veracruz, 14 de Querétaro, cinco de Guanajuato, cinco del Estado de México y uno de Nuevo León. Su escurrimiento superficial total es de 22 772 hm<sup>3</sup>/año

<sup>3</sup> La Región Administrativa X Golfo Centro cubre una extensión de 104 631 km<sup>2</sup> (5% del territorio nacional). Se integra con 443 municipios: 187 de Veracruz, 161 de Oaxaca, 90 de Puebla y cinco de Hidalgo. Su escurrimiento superficial total es de 98 930 hm<sup>3</sup>/año, por lo que a nivel nacional ocupa el segundo lugar, superada por la Región XI Frontera Sur (CNA, 2003b). (Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Comisión Nacional del Agua (CNA). Región X Golfo Centro, Mexico).

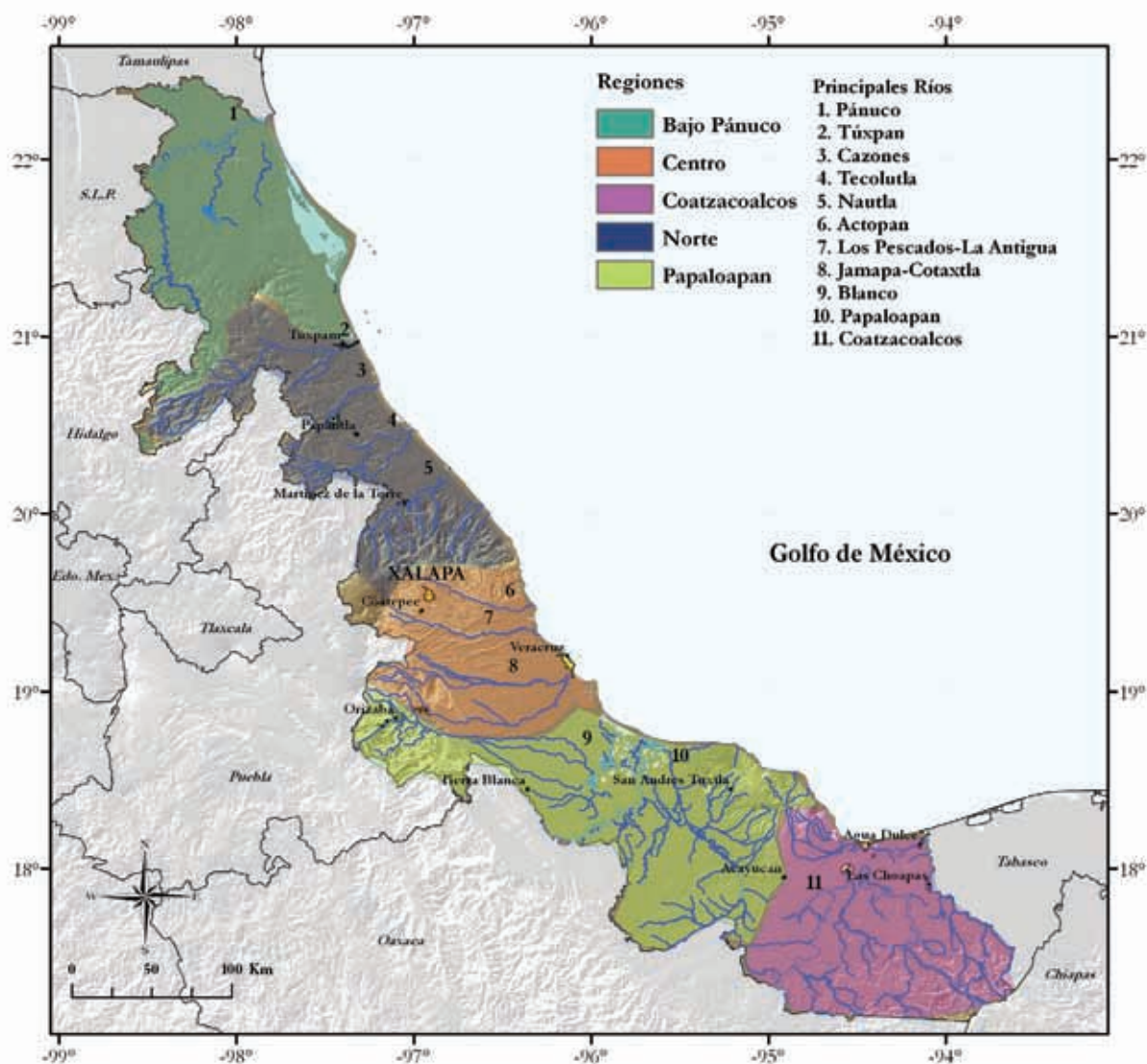


FIGURA 1. Regiones Hidrológicas de Veracruz. (Fuentes: CNA (1998) y Conabio (2003)).

hidrológico superficial de Veracruz es de los más altos del país. El escurrimiento superficial anual medio es de 121 000 hm<sup>3</sup> (millones de m<sup>3</sup>) –casi 30 % del escurrimiento superficial total nacional, que es aproximadamente de 410 000 hm<sup>3</sup>–. El escurrimiento natural (volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica) que se genera es de 50 188 hm<sup>3</sup>, y la disponibilidad per cápita para el

2005 fue de 7 058 m<sup>3</sup> (CSVA, 2005). Aunque el escurrimiento per cápita es alto, año con año se ha ido reduciendo y de acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población, esta tendencia se mantendrá al menos hasta el año 2020 (figura 2). Destacan, por la magnitud de su aportación, las regiones de Coatzacoalcos y Papaloapan con aproximadamente el 14 y el 13 % del escurrimiento total del estado, respectivamente (cuadro 1).

CUADRO 1. Principales características de la Regiones Hidrológicas de Veracruz. (Fuente: modificado de CSVA, 2005).

| REGIÓN             | SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )<br>Y % DE SUPERFICIE<br>ESTATAL | ESCURRIMIENTO<br>hm <sup>3</sup> | CUENCAS   | CIUDADES<br>PRINCIPALES   | NÚMERO DE<br>MUNICIPIOS | POBLACIÓN<br>(HABITANTES) |
|--------------------|---|----------------------------------|---|---|-------------------------|---------------------------|
| Bajo Pánuco        | 9 375<br>(13.11 %)  | 2 689                            | Bajo Pánuco y<br>Tempoal                                      | Pánuco, Anáhuac,<br>Benito Juárez, Tantoyuca<br>y Tempoal       | 15                      | 457 636                   |
| Norte de Veracruz  | 17 585<br>(24.6 %)  | 9 934                            | Tuxpan, Cazones,<br>Tecolutla, Nautla y<br>Laguna de Tamiahua | Poza Rica<br>de Hidalgo y<br>Tuxpan de Rodríguez Cano           | 48                      | 1 620 683                 |
| Centro de Veracruz | 10 426 (14.58 %)  | 5 643                            | Alto Balsas<br>Actopan, Antigua<br>y Jamapa-Cotaxtla          | Zona Conurbada<br>Veracruz-Boca del Río<br>y Xalapa de Enríquez | 58                      | 2 081 897                 |
| Papaloapan         | 19 530 (27.32 %)  | 15 592                           | Río Blanco, San Juan,<br>Tesechoacán y Papaloapan             | Córdoba, San Andrés<br>Tuxtla y Orizaba                         | 68                      | 1 950 515                 |
| Coatzacoalcos      | 14 576 (20.39 %)  | 16 330                           | Coatzacoalcos, Uxpanapa,<br>Huazuntlán y Tonalá               | Minatitlán y<br>Coatzacoalcos                                   | 23                      | 1 002 517                 |

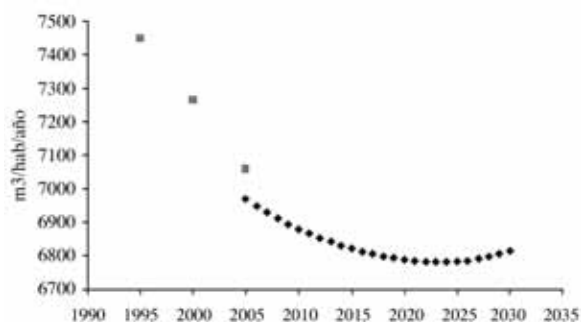


FIGURA 2. Escurrimiento per cápita para el estado de Veracruz. (Fuentes: CSVA, 2005 y Conapo, 2006) calculados con base al escurrimiento natural (7 058m<sup>3</sup>) reportado por CSVA (2005); los conteos de Población y Vivienda 1995, 2000 y 2005 (datos en cuadros, INEGI, <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10202>) y las proyecciones (datos en rombos) del Conapo (<http://www.conapo.gob.mx/00cifras/5.htm>). La diferencia en el valor para el 2005 se debe al ajuste realizado por Conapo al número de habitantes (Conapo, 2006).

## AGUA SUBTERRÁNEA

De acuerdo con la CNA, Veracruz cuenta con 18 acuíferos, los cuales tienen una recarga media anual de alrededor de 3 085 hm<sup>3</sup>. El balance hídrico realizado por la CNA presenta balances positivos, con una disponibilidad media anual en los principales acuíferos en el estado de acuerdo con lo señalado en el cuadro 2. No obstante, la CNA reporta que los acuíferos “costera de Veracruz” y “costera de Coatzacoalcos” presentan problemas de intrusión salina (CNA, 2003).

## CONCLUSIONES

La oferta potencial anual global de agua en Veracruz, es del orden de 53 273 hm<sup>3</sup>/año. Este total proviene de 50 188 hm<sup>3</sup>/año de aguas superficiales y 3 085 hm<sup>3</sup>/año que corresponden a la recarga de

CUADRO 2. Disponibilidad de agua en los principales acuíferos de Veracruz.

| REGIÓN            | NÚMERO<br>CNA | ACUÍFERO                        | VOLÚMENES (hm <sup>3</sup> ANUALES) |          |                | CONDICIÓN    |
|-------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------|----------------|--------------|
|                   |               |                                 | Recarga                             | Salidas  | Disponibilidad |              |
| Bajo Pánuco       | 3017          | Tampico-Misantla (1)            | 22.55                               | 22.16    | 0.39           | Equilibrio   |
| Norte de Veracruz | 3001          | Poza Rica (1)                   | 3.69                                | 1.14     | 2.55           | Subexplotado |
|                   | 3002          | Tecolutla (1)                   | 14.75                               | 6.47     | 8.28           | Subexplotado |
| Centro            | 3003          | Martínez de la Torre-Nautla     | 73.08                               | 19.11    | 53.97          | Subexplotado |
|                   | 3014          | Álamo-Tuxpan (1)                | 42.02                               | 26.06    | 15.96          | Subexplotado |
|                   | 3004          | Perote-Zalayeta                 | 46.8                                | 18.19    | 28.61          | Subexplotado |
|                   | 3005          | Valle de Actopan                | 400.42                              | 347.32   | 53.1           | Subexplotado |
|                   | 3006          | Costera de Veracruz             | 508.27                              | 336.69   | 171.58         | Subexplotado |
|                   | 3008          | Cotaxtla                        | 163                                 | 131.22   | 31.78          | Subexplotado |
| Papaloapan        | 3018          | Jalapa-Coatepec (2)             |                                     |          |                |              |
|                   | 3007          | Orizaba-Córdoba                 | 109.5                               | 93.74    | 15.76          | Subexplotado |
|                   | 3009          | Omealca-Huixcolotla (1)         | 46.6                                | 20.06    | 26.54          | Subexplotado |
|                   | 3010          | Los Naranjos                    | 1101.46                             | 588.39   | 513.07         | Subexplotado |
|                   | 3011          | Soteapan-Hueyapan (1)           | 23.74                               | 5.85     | 17.88          | Subexplotado |
|                   | 3016          | Sierra de San Andrés Tuxtla (1) | 56.12                               | 7.59     | 48.53          | Subexplotado |
| Coatzacoalcos     | 3019          | Cuenca Río Papaloapan           | 129                                 | 70.52    | 58.48          | Subexplotado |
|                   | 3020          | Costera del Papaloapan (1)      | 172.66                              | 28.58    | 144.08         | Subexplotado |
|                   | 3012          | Costera Coatzacoalcos (1)       | 172.2                               | 46.65    | 125.55         | Subexplotado |
|                   |               | Total                           | 3 085.86                            | 1 769.74 | 1 316.11       |              |

Modificado de CSVA (2005).

(1) Disponibilidad no publicada por CNA.

(2) No se cuenta con información de este acuífero.

aguas subterráneas. Con estos valores se le puede ubicar con una disponibilidad per cápita de 7 058 m<sup>3</sup>/hab/año siendo ésta una oferta abundante de recursos hidrológicos. Paradójicamente, es posible que la abundancia en los escurrimientos superficiales haya sido inducida por la modificación del entorno natural, al sustituir las masas forestales originales por campos agrícolas y pecuarios. Por otra parte, la calidad del agua de los ríos o aguas superficiales que se encuentran en microcuencas con alto porcentaje de agricultura o zonas urbanas, generalmente es mala, ya que los ríos reciben contaminantes de diferentes tipos.

Para conservar la cantidad y calidad de los escurrimientos superficiales y subterráneos y poder darles diferentes usos, es recomendable tomar las siguientes medidas: conservar zonas boscosas que ayuden en la regulación de flujos y zonas riparias que sirvan de trampas de sedimentos y nutrientes para evitar el azolve y eutrofización de los sistemas

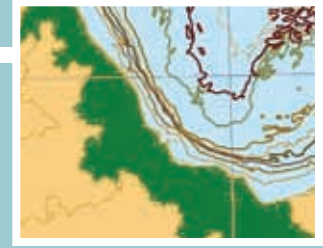
acuáticos, tanto superficiales como subterráneos. Además es importante evitar que se viertan desechos urbanos o industriales directamente en los sistemas.

AGRADECIMIENTOS. Parte de la información de este capítulo se obtuvo del proyecto apoyado por SEP CONACYT 43082.

#### LITERATURA CITADA

- CNA, 2003, Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Comisión Nacional del Agua (CNA), Región X Golfo Centro, Mexico.
- CSVA, 2005, Programa Hidráulico Estatal, Consejo Estatal Veracruzano del Agua.

## La zona marina



Carlos González-Gándara

### RASGOS DEL AMBIENTE MARINO

El litoral veracruzano tiene una longitud aproximada de 745 km, constituye un poco más del 10 % del total nacional. En él se presentan costas primarias volcánicas por flujo de lava y de tefra (*e.g.* Los Tuxtlas) y por deposición subaérea generada por el viento y los ríos; así como también de costas secundarias formadas por deposición marina (*e.g.* Laguna de Tamiahua) y arrecifes de coral (Contreras, 1993).

Uno de los rasgos relevantes de las costas de Veracruz lo constituye el drenaje fluvial producto de la desembocadura de los ríos Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, La Antigua, Jamapa, Blanco, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá. Éstos determinan en gran medida las características sedimentarias de la plataforma continental y la diversidad biológica que se manifiesta en una amplia gama de ecosistemas costeros y una gran riqueza de especies. Los rasgos geomorfológicos de la zona marina incluyen: 1) la plataforma continen-

tal, 2) el talud y 3) la llanura abisal; la primera, se extiende desde la costa hasta los 200 m de profundidad; en particular, Veracruz presenta la plataforma más angosta comparada con el resto del Golfo de México (figura 1). Aldeco-Ramírez y Sánchez-Juárez (2002) señalan que su anchura promedio es de 33.6 km y cubre un área aproximada de 23 700 km<sup>2</sup>. Ésta se vuelve más estrecha (6 a 16 km) en la zona volcánica de Los Tuxtlas (Toledo-Ocampo, 2005). Por su parte, el talud continental es un área de pendiente acentuada y sus dimensiones son amplias frente a las costas veracruzanas (figura 2). De la Lanza (1991) refiere que hacia el sur es diseado por valles submarinos que generan un relieve irregular y hacia el centro es sinuoso con domos salinos que forman cordones. La llanura abisal está formada por dos provincias, una provista de una serie de plegamientos orientados en sentido noreste-suroeste en el centro y norte de Veracruz y otra de domos salinos en el sur, las cuales están separadas por la fosa tectónica ubicada frente a la zona volcánica de Los Tuxtlas.

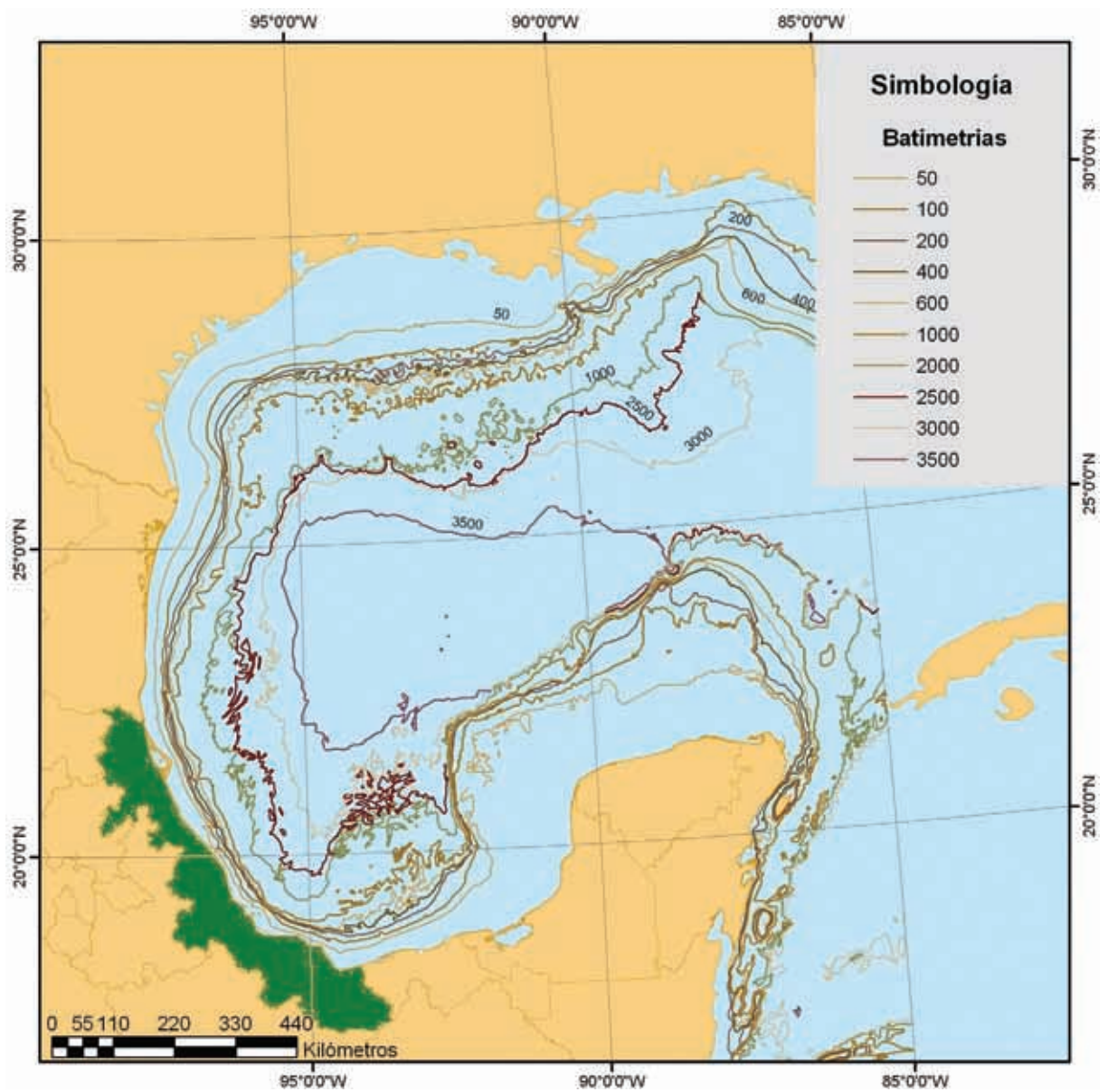


FIGURA 1. Batimetría del Golfo de México. Fuente: modificado de Martínez-López y Parés-Sierra, 1998 (Elaborado por: Marbella Martínez).

### Los sedimentos

El drenaje de los ríos, la actividad volcánica, la deposición aérea y marina, así como las actividades agrícolas, ganaderas, industriales y comerciales han contribuido para definir las propiedades sedimenta-

rias marinas del estado. De manera general, las playas de Veracruz, al igual que otras del Golfo de México, presentan un alto contenido de cuarzo debido al transporte fluvial (Carranza-Edwards *et al.*, 2004). La plataforma continental de Veracruz es un ambiente de depósito representado por cinco

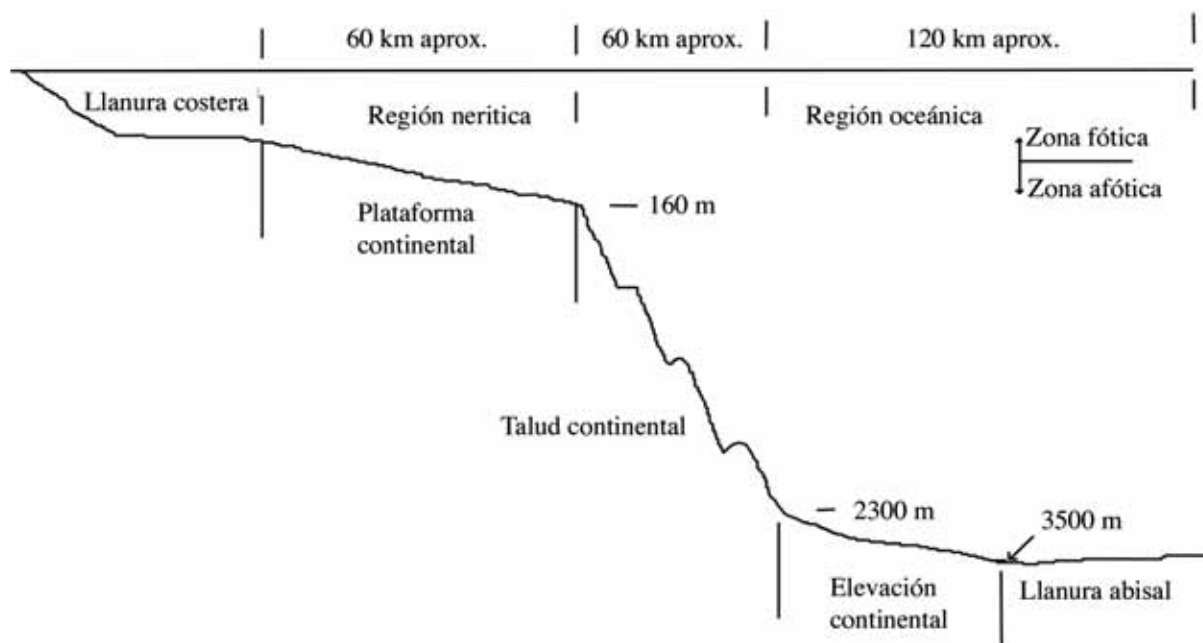


FIGURA 2. Rasgos de la zona marina de Veracruz. Fuente: Tomada de Aldeco-Ramírez y Sánchez-Juárez, 2002 (Elaborado por: Marbella Martínez).

litofacies: 1) arcillo-calcárea, 2) calcáreo-arcillosa, 3) arena-calcárea, 4) calcárea y 5) calcárea-arenosa (figura 3). Los sedimentos sobre la plataforma continental, en general, son más finos a medida que aumenta la profundidad (Campos-Castán, 1986). Entre Veracruz y la frontera con Tabasco se ubican dos zonas arenosas, una en el área de influencia de los arrecifes de Veracruz y Antón Lizardo y otra en el área de influencia del río Coatzacoalcos; las arcillas se ubican entre Roca Partida y el río Coatzacoalcos.

### Masas de agua

Las tres masas de agua marina que arriban a las costas de Veracruz son las mismas que ingresan al Golfo de México: 1) La masa que se forma al oeste del Mar de los Sargazos y el sureste de la corriente

del Golfo; 2) la que se forma al sureste de Brasil y 3) la que se forma en la parte meridional del Atlántico sur (Vázquez de la Cerda, 2004). Nowlin (1971) establece la existencia de varias masas de agua en el Golfo de México (figura 4). La capa superficial o de mezcla ocupa los primeros 100 a 150 m y es afectada por fenómenos climáticos atmosféricos, así como por el flujo de agua cálida y salina procedente del Caribe. Debajo de ésta se encuentra otra capa con más de 17 °C que posiblemente es resultado de la mezcla vertical de la masa de agua subtropical subsuperficial, que ocupa profundidades de 150 a 250 m, y se caracteriza por una salinidad máxima de 36.6 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS) y bajo contenido de oxígeno. Por debajo de los 250 m y hasta los 900 m, se encuentra una capa con temperaturas que van de 19 a 6.3 °C y salinidades de 35 a 36 UPS. En esta capa se detecta un estrato de

mínimo oxígeno que se modifica de acuerdo a las características regionales, por ejemplo, en las aguas del oeste del Golfo de México, donde se ubica Veracruz, la capa de mínimo oxígeno ocurre desde los 200 hasta los 500 m de profundidad. Después de

los 900 m de profundidad, se localiza una capa de Agua Antártica Intermedia (AIA) que se caracteriza por una salinidad de 34.86 a 34.89 UPS y temperaturas de 6.2 °C. Por debajo de ésta y hasta los 1 400 m de profundidad, se ubica otra capa de transición

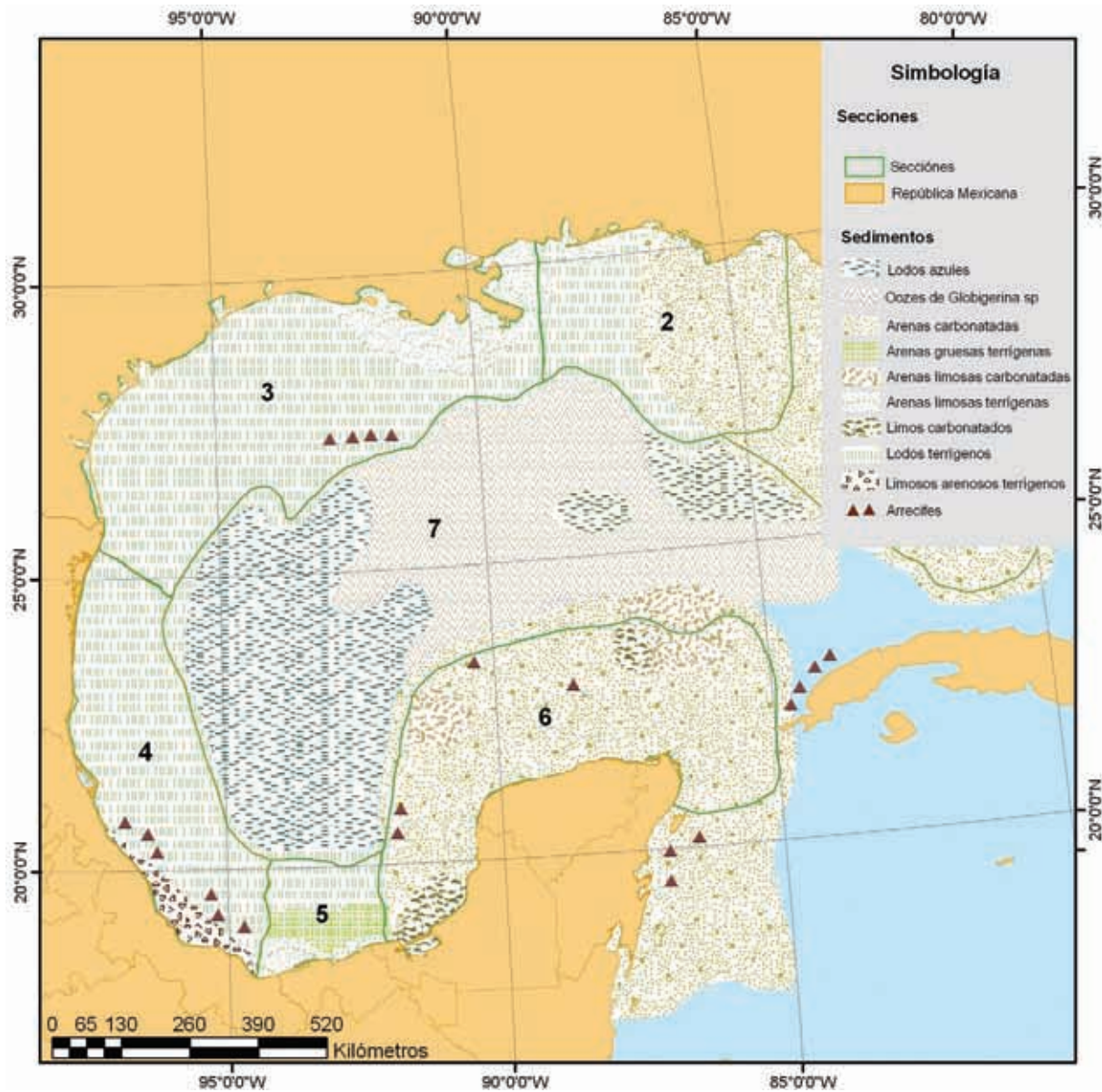


FIGURA 3. Distribución de sedimentos en el Golfo de México y Mar Caribe. FUENTE: De la Lanza, 1991(Elaborado por: Marbella Martínez).

caracterizada por una temperatura decreciente y una salinidad que aumenta hasta llegar a la zona que corresponde al Agua de Fondo, cuya temperatura es de 4 °C y una salinidad de 34.96 UPS a una profundidad de 1 500 m (Nowlin, 1971).

### Circulación

Los patrones de circulación en las costas de Veracruz se relacionan con la influencia de las aguas cálidas y salinas que entran a través del canal de Yucatán y salen por el estrecho de Florida, formando la Corriente del Lazo (De la

Lanza, 1991; Vázquez de la Cerda, 2004). La columna de agua de la plataforma de Veracruz presenta una fuerte estacionalidad, las corrientes se mueven al sur en el periodo de septiembre a marzo y hacia el norte en el periodo de mayo a agosto, con un periodo de transición de marzo a abril y de agosto a septiembre. Zavala-Hidalgo *et al.* (2003), refieren que éstas son las corrientes costeras más fuertes y variables del Golfo de México.

Por otra parte, las aguas de la plataforma marina de Veracruz presentan inversiones térmicas estables causadas por la advección de agua fría y de baja salinidad procedente de la plataforma de Louisiana y

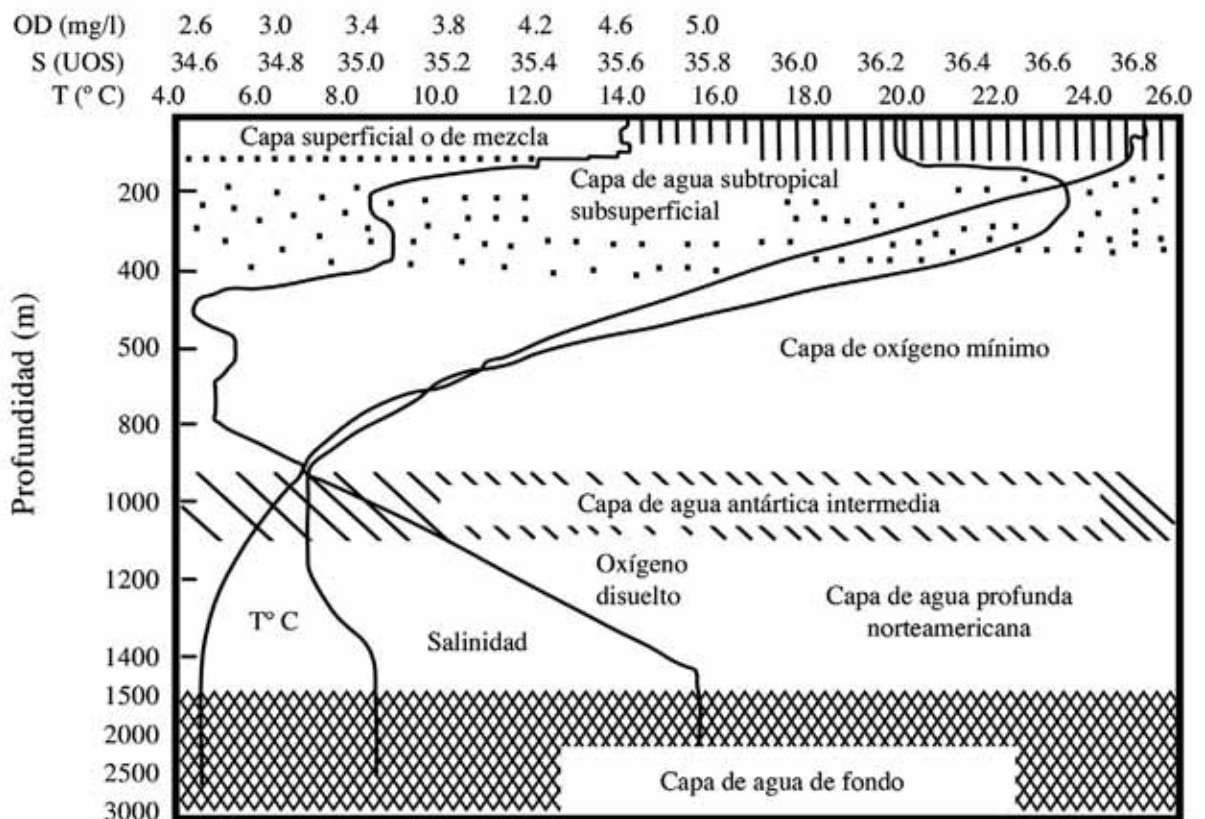


FIGURA 4. Diagrama vertical de las masas de agua del Golfo de México. FUENTE: Nowlin, 1971 (Elaborado por: Marbella Martínez).

Texas. En el verano, la estratificación vertical se incrementa con la llegada de agua cálida oceánica y la penetración de agua de baja salinidad procedente del drenaje continental (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003). Un rasgo importante que se produce en la plataforma de Tamaulipas y Veracruz es el afloramiento, que consiste en el movimiento de nutrientes de aguas profundas hacia las someras y que se debe a la penetración de agua de profundidad intermedia (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003).

### Las corrientes superficiales

Las corrientes superficiales en la zona marina de Veracruz presentan un flujo de agua que permanece casi constante y sin cambios significativos en su dirección, sin embargo, la velocidad es mayor en verano y menor en invierno (Secretaría de Marina, 1974). En la circulación superficial de verano del Golfo de México se han observado dos rasgos, una corriente al oeste localizada en el Banco de Campeche y otra hacia el norte de Veracruz, Tamaulipas y sur de Texas (Martínez-López y Parés-Sierra, 1998).

### Las mareas

Las mareas en Veracruz, al igual que ocurre para el Golfo de México, en general son diurnas. Los valores más altos del nivel del mar aumentan hacia el sur del estado, donde la estación de Coatzacoalcos presenta el valor más alto (189 a 213 cm), posiblemente debido a las características geomorfológicas de esta zona (De la Lanza, 1991).

### Los fenómenos meteorológicos

Las costas veracruzanas se ven afectadas por fenómenos como los nortes y los ciclones tropicales. Los nortes son

masas de aire polar que se desplazan de noroeste a noreste, con velocidades variables de 30 a 100 km por hora y rachas mayores. Para Veracruz, la mayor ocurrencia de éstos es durante los meses de octubre a abril. Por otro lado, los ciclones tropicales se manifiestan de junio a septiembre. Ambos fenómenos generan modificaciones en los ecosistemas y sus componentes.

### Los factores fisicoquímicos

La temperatura reportada para el Puerto de Veracruz indica una máxima de 39.5 °C y una mínima de 12.0 °C, por su parte, la salinidad es un factor asociado a la temperatura y sus valores para las costas de Veracruz oscilan entre 0.0 y 41.1 UPS. El oxígeno disuelto al igual que los parámetros anteriores es variable en las aguas litorales. Sus valores fluctúan entre 2.4 ml/l y los cambios son continuos e intensos debido a las etapas estacionales en la actividad biológica y la topografía, además de la mezcla de agua dulce continental con el agua marina. En contraste, en el mar abierto la oxiclina (cambio abrupto de la concentración de oxígeno disuelto con la profundidad) va de los 80 a los 240 m, siendo más somera en el invierno (100 a 160 m) y alcanza el mínimo (2.4ml/l) a los 300 m (Secretaría de Marina, 1982). A las masas de agua cuya concentración de oxígeno disuelto alcanza valores por debajo de 2 mg/l (1.4 ml) se les asocia el término hipoxia. Los valores de estos factores varían en función de: 1) la dinámica de las masas de agua, 2) las corrientes, 3) las mareas, 4) el drenaje fluvial y 5) las actividades humanas. Por ejemplo, la concentración de nitratos de origen fluvial promueve la producción primaria local, conllevando a una actividad biológica elevada que consume el oxígeno disuelto (Rabalais *et al.*, 2002).

### Nutrientes

El comportamiento de los nutrientes en la zona marina de Veracruz responde, en general, a la diná-

mica propia del ecosistema marino, donde los patrones de circulación están definidos por las estaciones del año, el ascenso y descenso de aguas del fondo debido a los giros ciclónicos y anticiclónicos, además de los aportes continentales. En el oeste del Golfo de México no se detectan nitratos superficiales, excepto en el verano frente a la Laguna Madre, Tamaulipas, donde los valores de 1.20  $\mu\text{g-at/l}$  aumentan hacia los 500 m hasta 30  $\mu\text{g-at/l}$ . Al igual que los nitratos, los nitritos tienen un comportamiento parecido, las concentraciones son de 0.2  $\mu\text{g-at/l}$  y en mar abierto aumentan hasta 0.3-0.4  $\mu\text{g-at/l}$  a 400 m de profundidad. El fósforo y su distribución son poco conocidos, los ortofosfatos mantienen niveles de 0.1 a 0.3  $\mu\text{g-at/l}$  hasta los 100 m de profundidad y luego se registran 2.5  $\mu\text{g-at/l}$  a 200 m como resultado del giro anticiclón mexicano (Moulin, 1980). La materia orgánica, los sólidos totales suspendidos y el material orgánico suspendido son muy abundantes en el Golfo de México, particularmente en las aguas que se desplazan sobre la plataforma continental, con 54.6 % y en las superficiales de mar abierto 49.5 %. El contenido decrece a los 10 m de profundidad hasta 22.7 %. El carbono orgánico disuelto presenta valores de 0.8  $\mu\text{g-at/l}$  frente a las costas de Veracruz en aguas superficiales (Fredericks y Sackett, 1970) y una variación estacional especialmente en zonas cercanas a la costa.

## CONCLUSIONES

La zona marina del estado de Veracruz presenta características sedimentarias, geomorfológicas y ecológicas que reflejan la influencia de los aportes fluviales, la actividad volcánica, la deposición aérea y atmosférica, las masas de agua y las actividades humanas.

Las propiedades fisicoquímicas de las áreas marinas de Veracruz se establecen por la dinámica de las masas de agua oceánica que definen los patrones de circulación y las corrientes superficiales. Los valores

de temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes, que en general son más altos en las partes someras con respecto a las profundas, se ven altamente influenciados por los fenómenos meteorológicos, los afloramientos, el drenaje continental y la estacionalidad.

Hasta el momento no se conoce de la existencia de una zona con concentraciones bajas de oxígeno frente a las costas del estado, como ocurre en el norte del Golfo de México en la desembocadura del río Mississippi.

AGRADECIMIENTOS: Al laboratorio de SIG del Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) de la Universidad Veracruzana por la elaboración de las figuras.

## LITERATURA CITADA

- ALDECO-RAMÍREZ, J. y J. M. Sánchez-Juárez A., 2002, Ambiente marino y estuarino. en Guzmán-Amaya, P., C. Quiroga-Brahms, C. Díaz-Luna, D. Fuentes-Castellanos, C. M. Contreras y G. Silva-López (coords.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad Veracruzana, pp. 2-11.
- CAMPOS-CASTÁN, J., 1986, Características sedimentológicas y microfaunísticas de la plataforma y talud continental entre Veracruz, Ver. y Frontera, Tab., Dirección General de Oceanografía Naval, Secretaría de Marina, Investigación Oceanográfica, *Geología Marina* 3(2):63-114.
- CARRANZA-EDWARDS, A. L. Rosales-Hoz, M. Caso-Chávez y E. Morales de la Garza, 2004, La geología ambiental de la zona litoral, en Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

- Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto de Ecología/ Harte Research Institute for Gulf of México Studies, pp. 571-601.
- CONTRERAS, E. F., 1993, *Ecosistemas costeros mexicanos*, 1ª ed. Conabio/UAM, México, 415 pp.
- DE LA LANZA, E. G. (comp.), 1991, *Oceanografía de mares mexicanos*, 1ª ed. AGT, México, 569 pp.
- FREDERICKS, D. A. y W. M. Sackett, 1970, Organic carbon in the Gulf of Mexico, *Journal Geophysical Research* 75(12): 2199-2206.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ, B. y A. Parés-Sierra, 1998, Circulación del Golfo de México inducida por mareas, viento y la Corriente de Yucatán, *Ciencias marinas* 24(1):65-93.
- MOULIN, R. J., 1980, *Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México*, Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía, 47 pp.
- NOWLIN, W. D., 1971, Winter circulation patterns and property distributions, en Capurro, L. R. A. y J. L. Reids (eds.), en *Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico*. Gulf Publishing Company, Houston, pp.3-51.
- RABALAIS, N.N., R.E. Turner y D. Scavia, 2002, Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River, *Bioscience* 52: 129-142.
- SECRETARÍA DE MARINA, 1974, *Atlas Oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe*, Sección I, Mareas y Corrientes OSM, núm. 100, 38 pp.
- SECRETARÍA DE MARINA, 1982, *Comportamiento físico químico del agua en el arrecife de Isla Verde, Ver.*, Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina, Veracruz, 70 pp.
- TOLEDO-OCAMPO, A., 2005, Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México, en Botello, A. V., Rendon-von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.), *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias*, 2ª ed, Universidad Autónoma de Campeche/ Universidad Nacional Autónoma de México/ Instituto Nacional de Ecología, pp. 25-51.
- VÁZQUEZ de la Cerda, A. M., 2004, Análisis descriptivo de las masas de agua oceánica que arriban al Golfo de México, en Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Instituto Nacional de Ecología/Instituto de Ecología/Harte Research Institute for Gulf of México Studies, pp. 69-104.
- ZAVALA-HIDALGO, J., S. L. Morey y J. J. O'Brien, 2003, Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journ. Geophysical Research* 108(C12): 3389, doi:10.1029/2003JC001879.

# Lagunas costeras y estuarios



Ana Laura Lara-Domínguez  
Francisco Contreras Espinosa  
Ofelia Castañeda-López  
Everardo Barba-Macías  
Marco Aurelio Pérez-Hernández

## INTRODUCCIÓN

El litoral mexicano abarca 11 592.77 km<sup>2</sup>, y se caracteriza por sus variados y ricos ecosistemas costeros como: bahías, ensenadas, lagunas costeras y estuarios que, por siglos, han representado un sustento importante para los mexicanos. En todo el país existen entre 125 y 130 lagunas costeras que abarcan un área de 15 000 km<sup>2</sup>. Las lagunas costeras se definen geomorfológicamente como depresiones en la costa por debajo del promedio máximo de las mareas más altas, siempre protegidas de las fuerzas del mar por algún tipo de barrera que puede ser de tipo físico, principalmente de arena, y con comunicación con el mar de manera permanente o efímera; o barrera tipo hidrodinámica por la presencia de agua dulce y agua de mar (Lankford, 1977).

Otro rasgo importante en la zona costera es la descarga de los ríos directa al mar, a lo que se denomina como estuarios. Estos rasgos se definen hidrodinámicamente como cuerpos de agua costeros, semicerrados con conexión libre al mar y dentro del

cual el agua de mar se diluye significativamente con el agua dulce que proviene del drenaje terrestre (Pritchard, 1967). Tanto las lagunas costeras como los estuarios son ecosistemas que destacan por su importancia económica, ya que son áreas de pesca artesanal y medio de vida de miles de pescadores. Además, su importancia radica en la función ecológica de su alta productividad primaria que permite a estos ecosistemas ser un lugar de crianza, reproducción y resguardo de muchos organismos acuáticos de valor comercial, permitiendo así concentrar un gran espectro de la biodiversidad.

Las costas enfrentan graves efectos negativos no sólo por las actividades que ahí se desarrollan, sino por su interacción con zonas continentales (figura 3). Destacan las descargas domésticas e industriales, escurrimientos superficiales, arrastre y contaminación del suelo, aumento en la implementación de caminos costeros y el consecuente incremento en el tráfico de vehículos, la extracción petrolera, los desarrollos turísticos y sobre todo su fragilidad ante los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos



FIGURA 1. Esquema de la Laguna La Mancha, compuesta por fotografías aéreas (2006) proporcionadas por el Inecol (López-Portillo *et al.*, 2008).

(tormentas, huracanes, inundaciones, entre otros). Todo esto se refleja en procesos de deterioro que se resumen en dos puntos: 1) el incremento en la contaminación costera y 2) la pérdida y deterioro de los ecosistemas y recursos costeros (Vázquez-Botello *et al.*, 1996; Steer *et al.*, 1997).

En este sentido, en el litoral del estado de Veracruz los cuerpos lagunares cubren un área de 1 166 km<sup>2</sup> (7.4 % del total nacional). Las características de estos cuerpos son muy variables en cuanto a sedimentación y geomorfología que dependen principalmente del relieve, clima, oleaje, entre otros. En general, las costas del Golfo de México se clasifican como de mares marginales, ya que descienden gradualmente desde la Sierra Oriental de México, conformando una planicie costera típicamente amplia y de bajo relieve (Inman y Nordstrom, 1971; Carranza Edwards *et al.*, 1975; Lankford, 1977). En la planicie costera del estado de Veracruz se presentan costas de alto relieve en dos áreas: las elevaciones de Xalapa y los volcanes de Los Tuxtlas, que constituyen el final del cinturón volcánico Trans-Mexicano. Asimismo, el litoral del estado queda incluido en la zona denominada Costa Centro Oriental, y abarca, aproximadamente, 675 km de línea de costa en desarrollo longitudinal y casi 614 km de aguas protegidas o interiores (Ortiz Pérez y De la Lanza, 2006).



FIGURA 2. Vista panorámica de la boca conexión de la Laguna del Ostión abierta por los pescadores en octubre del 2007 (Foto: Ana Laura Lara-Domínguez).

Entre las lagunas más importantes en el estado están Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, Grande, San Agustín, Salada, Verde, El Llano, El Farallón, La Mancha (figura 1), Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión (figura 2). Así como los estuarios de los ríos Tuxpan, Tecolutla, Casitas-Nautla, La Antigua, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá, éste último constituye el límite con el estado de Tabasco.

#### LAS LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ

Las lagunas costeras del estado se dividen en cinco regiones de acuerdo a la regionalización propuesta por Moreno-Casasola *et al.* (2002) que se basa en la influencia marina y en los procesos costeros prevalentes; las regiones son: Región Norte, Región Centro Norte, Región Centro, Región Centro Sur y Región Sur (figura 3). Para el presente trabajo la Región Centro incluye Norte y Sur (Contreras Espinosa, 2006). En la figura 3 se muestra la localización de los principales cuerpos lagunares del estado, en el cuadro 1 las características de las principales lagunas del estado de Veracruz, mientras que en el cuadro 2 se muestra lo concerniente a los estuarios veracruzanos más importantes y en el cuadro 3 los trabajos de investigación que se han realizado en cada cuerpo de agua.

#### HIDROLOGÍA Y SUS IMPLICACIONES

El mantenimiento y conservación, así como la implementación de estrategias de recuperación y restauración de estos sistemas costeros depende de una correcta caracterización ambiental que tome en cuenta su forma, tamaño, escurrimientos y arroyos tributarios, número y tamaño de las bocas de conexión con el mar, así como su comportamiento a lo largo del año y el tipo de aporte de sedimentos de acuerdo a la cuenca hidrológica a la que está asociada, entre otros aspectos (figura 4).

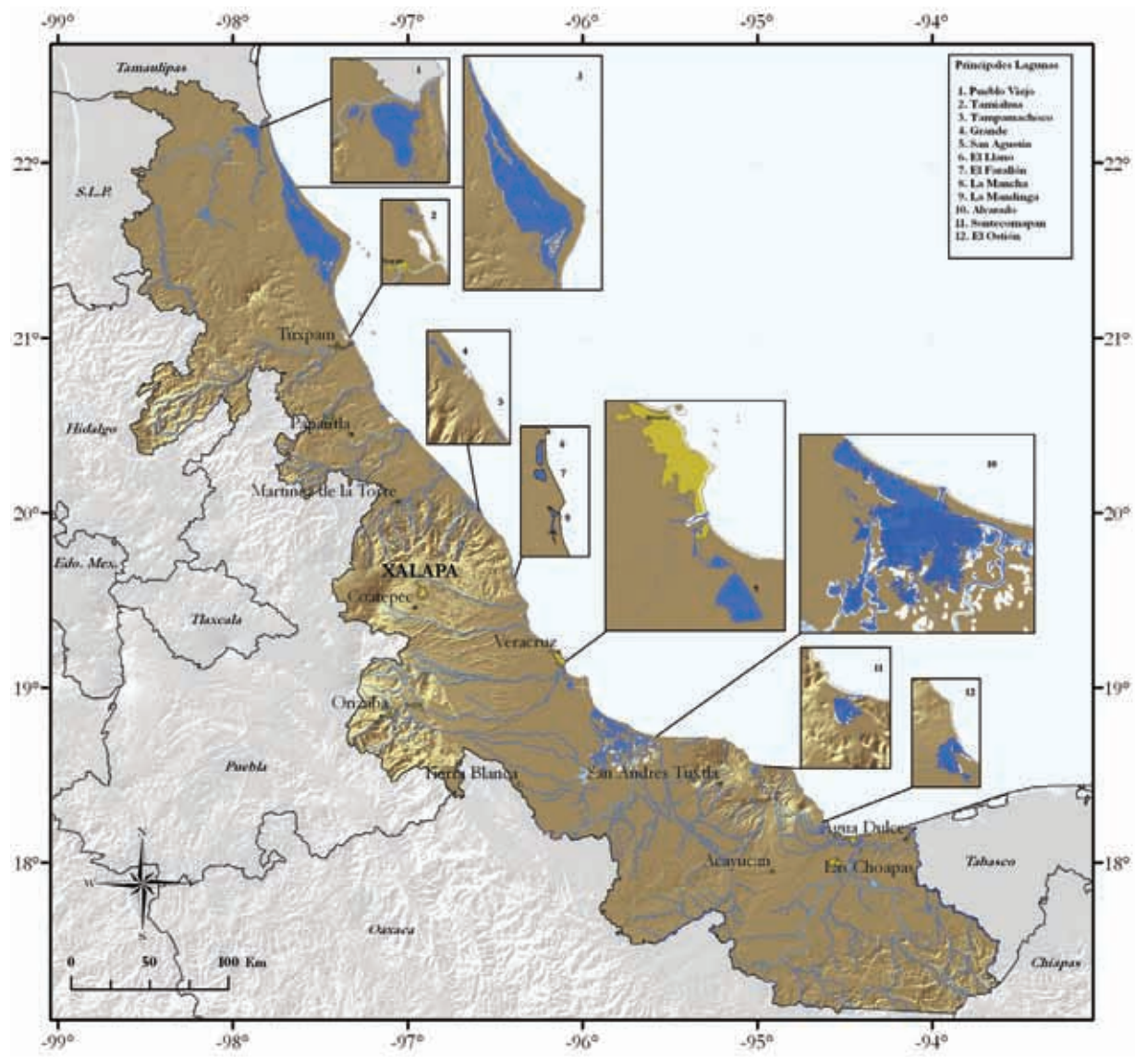


FIGURA 3. Distribución de los principales sistemas costeros (lagunas y estuarios) del estado de Veracruz.

Puesto que todos los procesos abióticos están íntimamente vinculados con la productividad primaria (cantidad total de materia creada por la actividad fotosintética), un aumento en ella puede provocar que los subsiguientes niveles tróficos se vean beneficiados con mayor transferencia de energía. Así, la cuantificación y seguimiento de este proceso básico

dará la clave de la salud y potencialidad del recurso (Contreras Espinosa *et al.*, 2002, 2006). Las condiciones físicas y tróficas de estos sistemas costeros determinarán su utilidad ecológica como áreas de crianza o para la captura de especies con valor comercial, como son jaibas, ostiones, camarones, peces, entre otros (Margalef, 1975).

CUADRO 1. Características físicas, químicas y biológicas de las lagunas costeras del estado de Veracruz.

| LAGUNAS   | LOCALIZACIÓN  | EXTENSIÓN km <sup>2</sup> | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS           |             |           |   |                              | BIODIVERSIDAD |          |            |            |       | IMPACTOS   |   |
|---|---|---------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|---|------------------------------|---------------|----------|------------|------------|-------|--|---|
|   |   |                           | Salinidad                         | Temperatura | OD (mg/l) | Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )        | PPN (mgC/m <sup>3</sup> /hr) | Aves          | Moluscos | Crustáceos | Poliquetos | Peces |  | Otros   |
| REGIÓN: Norte   |   |                           |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  |   |
| MUNICIPIOS: Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama, Tamalín, Tamiahua, Tuxpan, Cazones de Herrera, Papantla, Tecolutla, Tantima y Pánuco  |   |                           |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  |   |
| Pueblo Viejo  | 22°05' y 22°13' de latitud norte y 97°50' y 98°00' longitud oeste                     | 88.7                      | mesohalina (10 a 20 ups)          | 25 a 30     | 4.0 a 5.0 | 40.0 a 50.0                             | < 100                        |               | 35       | --         | --         | 77    | Influencia del Río Panuco y los desechos industriales y domésticos. Problemas de eutroficación |   |
| Tamiahua  | 21°15' y 22°06' latitud norte y 97°23' y 97°46' longitud oeste                        | 880.0                     | polihalina (20 a 30 ups)          | 25 a 30     | 6.0 a 7.0 | 0.0 a 10.0                              | 100 a 200                    |               | 62       | 26         | 64         | 143   | 56   | Presencia de bacterias coliformes relacionadas con los asentamientos humanos; sobrepesca. Ha tenido problemas de contaminación por derrames de hidrocarburos  |
| Tampamachoco  | 20°18'- 21°02' latitud norte y 97°19' y 97°22' longitud oeste                         | 15.0                      | polihalina-euhalina (20 a 40 ups) | 25 a 30     | 4.0 a 6.0 | 10.0 a 20.0 (1980) , 20.0 a 30.0 (1990) | 100 a 200                    |               | 66       | 14         | --         | 176   | 53   | Severos problemas de eutroficación; importantes descargas de aguas residuales, y asociadas a las bacterias coliformes se han registrado frecuentemente bacterias de <i>Shigella</i> , <i>Salmonella</i> y <i>Vibrium</i> empeorando la calidad del agua |
| REGION: Centro  |   |                           |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  |   |
| MUNICIPIOS: Martínez de la Torre, Nautla, Vega de Alatorre, Alto Lucero, Actopan, Úrsulo Galván, Antigua, Veracruz, Boca del Río, Alvarado, Medellín, Lerdo de Tejada y Ángel R. Cabada |   |                           |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  |   |
| Grande  | 20°03' y 20°09' latitud norte y 96°38' y 96°43' de longitud oeste                     | 22.5                      |                                   |             |           |   |                              |               | 36       | 36         | --         | 46    |  | No hay información publicada sobre los factores que están impactado este sistema  |
| San Agustín   | 19°55' y 19°56' latitud norte y 96°30' y 96°35' longitud oeste                        | --                        |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            | 33    |  | No hay información publicada sobre los factores que están impactado este sistema  |
| Salada y Verde  | 19°43' y 19°44' latitud norte y 96°24' y 96°25' longitud oeste                        | 1.0                       |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  | No hay información publicada sobre los factores que están impactado este sistema  |
| El Llano  | 19°36' latitud norte y 96°21' longitud oeste  | 23.6                      |                                   |             |           |   |                              |               |          | 26         |            | 46    |  | Por la boca de conexión cruza un ducto de Pemex que ha modificado significativamente el intercambio de agua entre la laguna y el mar.   |
| Farallón  | 19°37' latitud norte y 96°36' longitud oeste  | 8.0                       |                                   |             |           |   |                              |               | 40       |            |            |       |  | En los últimos 5 años ha perdido más de la mitad de su volumen de agua debido al aumento en las extracciones y la disminución de la recarga.  |
| La Mancha   | 19°34' y 19°42' latitud norte y 96°27' y 96°32' longitud oeste                        | 1.3                       | mesohalina (10 a 20 ups)          | 20 a 25     | 3.0 a 4.0 | 0.0 a 10.0                              | < 100                        | 44            | 44       | 56         | 32         | 65    | 24   | Es una laguna muy azolvada, presenta altas concentraciones de bacterias coliformes fecales, y por la boca cruza un ducto de Pemex con efectos de alteración tanto en la geomorfología como en la circulación estuarina.                                 |
| Mandinga  | 19°00' y 19°06' latitud norte y 96°02' y 96°06' longitud oeste                        | 32.5                      | polihalina (20 a 30 ups)          | 30 a 35     | 3.0 a 4.0 | 30.0 a 40.0                             |                              | 185           | 32       |            |            | 89    | 25   | El mayor impacto proviene de los asentamientos humanos a su alrededor y de su creciente actividad turística.  |
| Alvarado  | 18°43' y 18°59' latitud norte y 95°42' y 95°57' longitud oeste                        | 118.0                     | mesohalina (10 a 20 ups)          | 25 a 30     | 4.0 a 5.0 | 20.0 a 30.0                             | 200 a 300                    | 154           | 62       | 32         |            | 120   | 18   | Las áreas con mayor impacto se encuentran próximas al Puerto de Alvarado principalmente por las aguas residuales provenientes de la propia ciudad, con la presencia de coliformes fecales así como de plaguicidas como Edusolfán II, Edrín y Aldrín.    |
| REGION: Sur   |   |                           |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  |   |
| MUNICIPIOS: San Andrés Tuxtla, Catemaco, Tatahuicapan, Mecayapan, Pajapan, Coatzacoalcos y Agua Dulce   |   |                           |                                   |             |           |   |                              |               |          |            |            |       |  |   |
| Sontecomapan  | 18°30' y 18°34' latitud norte y 95°00' y 95°04' longitud oeste                        | 9.4                       | mesohalina (10 a 20 ups)          | 25 a 30     | 5.0 a 6.0 | 20.0 a 30.0                             | 100 a 200                    |               | 60       |            |            | 91    |  | Se reportan elevadas concentraciones de metales pesados   |
| Ostión  | 18°12' 35.3 y 18°09' 56.3" latitud norte y 94°37' 20.8" y 94°37' 22.3" longitud oeste | 12.7                      | mesohalina (10 a 20 ups)          | 25 a 30     | 4.0 a 5.0 | 0.0 a 10.0                              | < 100                        |               |          | 7          |            | 62    |  | Se ubican en uno de los centros industriales petroleros más importantes del estado y para México, lo cual se ha reflejado en impactos ambientales muy significativos en la calidad de agua y ambiente.  |

CUADRO 2. Características físicas y biológicas de los estuarios del estado de Veracruz

| REGIÓN | MUNICIPIOS  | ESTUARIO        | LOCALIZACIÓN  | EXTENSIÓN<br>km <sup>2</sup> | AVES | CRUSTÁCEOS | PECES | OTROS | IMPACTOS   |
|--------|---|-----------------|---|------------------------------|------|------------|-------|-------|--|
| Norte  | Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama, Tamalín, Tamiagua, Tuxpan, Cazones de Herrera, Papantla, Tecolutla, Tantita y Pánuco  | Tecolutla       | 20°27' y 20°29' latitud norte y 97°00' y 97°04' longitud oeste                  |                              | 106  |            | 60    | 8     | Presencia de contaminantes fecales tanto de humanos como de animales   |
| Centro | Martínez de la Torre, Nautla, Vega de la Torre, Alto Lucero, Actopan, Ursulo Galván, Antigua, Veracruz, Boca del Río, Alvarado, Medellín, Lerdo de Tejada y Ángel R. Cabada | Casitas- Nautla | 20°06' y 20°15' latitud norte y 96°00' y 97°00' longitud oeste                  |                              |      | 17         | 37    |       | No hay información publicada sobre los factores que están impactando este sistema  |
|        |   | La Antigua      | 19°29' de latitud norte y 96°18' longitud oeste                                 |                              |      |            | 37    |       | No hay información publicada sobre los factores que están impactando este sistema  |
| Sur    | San Andrés Tuxtla, Catemaco, Tatahuicapan, Mecayapan, Pajapa, Coatzacoalcos y Agua Dulce  | Coatzacoalcos   | 18°10' y 17°46' latitud norte y 94°25' a 94°39' longitud oeste                  |                              |      | 51         | 46    | 22    | Se ubican en uno de los centros industriales petroleros más importantes del estado y para México lo cual se ha reflejado en impactos ambientales muy significativos en la calidad del agua y del ambiente. |
|        |   | Tonalá          | 17°14' y 18°15' latitud norte y entre 93°23' y 94°21' longitud oeste del estado | 5 679                        | 202  | 8          | 50    | 22    | Se ubican en uno de los centros industriales petroleros más importantes y para México lo cual se ha reflejado en impactos ambientales muy significativos en la calidad del agua y del ambiente.            |



FIGURA 4. Vista panorámica de la Laguna del Ostión (Foto: Lara-Domínguez, enero del 2008).

Debido al gradiente latitudinal que caracteriza el litoral del estado de Veracruz, una de las principales diferencias en los parámetros abióticos que se observan en estos sistemas costeros es el clima, pues al norte del estado el clima es más seco y frío mientras que al sur predomina un régimen de lluvia más elevado, alcanzando hasta 2 500 mm anuales y elevadas temperaturas. Asimismo, las lagunas costeras de Veracruz comparten sus características en cuanto su comportamiento hidrológico; esto es, una mezcla de agua dulce y marina variable en función de su geomorfología, por lo que se consideran como sistemas típicamente estuarinos. Sin embargo, es posible detectar lagunas costeras con una influencia marcadamente marina, hasta ecosistemas en donde los aportes dulceacuícolas son dominantes a lo largo del año. Además, en esta costa coexisten cuerpos acuáticos con diferentes grados de conservación o deterioro (cuadro 1; figura 5).

CUADRO 3. Lista de trabajos que se han realizado en los cuerpos lagunares más importantes del estado de Veracruz.

| CUERPO DE AGUA             | TRABAJOS REALIZADOS.  |
|----------------------------|---|
| LAGUNA DE PUEBLO VIEJO     | Reguero y García-Cubas, 1993; Castillo Rivera <i>et al.</i> , 1994, 2005  |
| LAGUNA DE TAMIAHUA         | García-Cubas, 1978; Nava Montes, 1989; Raz Guzmán <i>et al.</i> , 1991; Franco y Chávez, 1993; Castañeda y Contreras Espinosa, 1994; Barreda Escorcía <i>et al.</i> , 1999; Castillo Rivera <i>et al.</i> , 1994; Díaz Ruiz <i>et al.</i> , 2003; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro |
| LAGUNA DE TAMPAMACHOCO     | Chávez 1967; Méndez, 1989; Reguero <i>et al.</i> , 1991; Pérez-Hernández y Torres-Orozco, 2000; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro   |
| LAGUNA GRANDE              | De la Cruz <i>et al.</i> , 1985; García Cubas <i>et al.</i> , 1992; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , capítulo de Peces de Veracruz en este libro  |
| LAGUNA SAN AGUSTÍN         | Sánchez, 1989   |
| LAGUNA SALADA Y VERDE      | —   |
| LAGUNA EL LLANO            | Morales, 1984; Olivia, 1991   |
| LAGUNA EL FARALLÓN         | Ruelas-Monjardín <i>et al.</i> , 2005   |
| LAGUNA LA MANCHA           | Reyes, 1986; Flores <i>et al.</i> , 1988; Juárez <i>et al.</i> , 2006; Contreras Espinosa <i>et al.</i> , 2006, Paradowska, 2006; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro   |
| LAGUNA DE MANDINGA         | Sánchez, 1978; De la Cruz <i>et al.</i> , 1985; Reguero y García-Cubas, 1991; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo de Peces de Veracruz en este libro  |
| LAGUNA DE ALVARADO         | Reguero y García-Cubas, 1989, 1991; Chávez y Franco, 1993; Franco <i>et al.</i> , 1996; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro   |
| LAGUNA DE SONTECOMAPAN     | De la Cruz <i>et al.</i> , 1985; Aké-Castillo, <i>et al.</i> , 1995, 2006; García-Cubas y Reguero, 1995; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro  |
| LAGUNA DEL OSTIÓN          | Bozada y Páez 1987; García, 1988; Díaz Ruiz <i>et al.</i> , 2008; Lara Domínguez <i>et al.</i> , 2008; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro  |
| ESTUARIO DEL RÍO TECOLUTLA | Bedia y Chinilla, 1982; Moreno, 1986; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro   |
| ESTUARIO CASITAS-NAUTLA    | Franco <i>et al.</i> , 1982; Lara-Domínguez <i>et al.</i> , 2010, capítulo Diversidad de peces..., en este libro  |
| ESTUARIO LA ANTIGUA        | Cubillas <i>et al.</i> , 1987; Pereyra y Pérez, 2006  |
| ESTUARIO RÍO COATZACOALCOS | Bozada y Páez, 1987; Restrepo, 1995; Pereyra y Pérez, 2006  |
| ESTUARIO DEL RÍO TONALÁ    | Bozada y Páez, 1986; Herzig, 1986; Vazquez-Botello <i>et al.</i> , 1992; Pereyra y Pérez, 2006  |

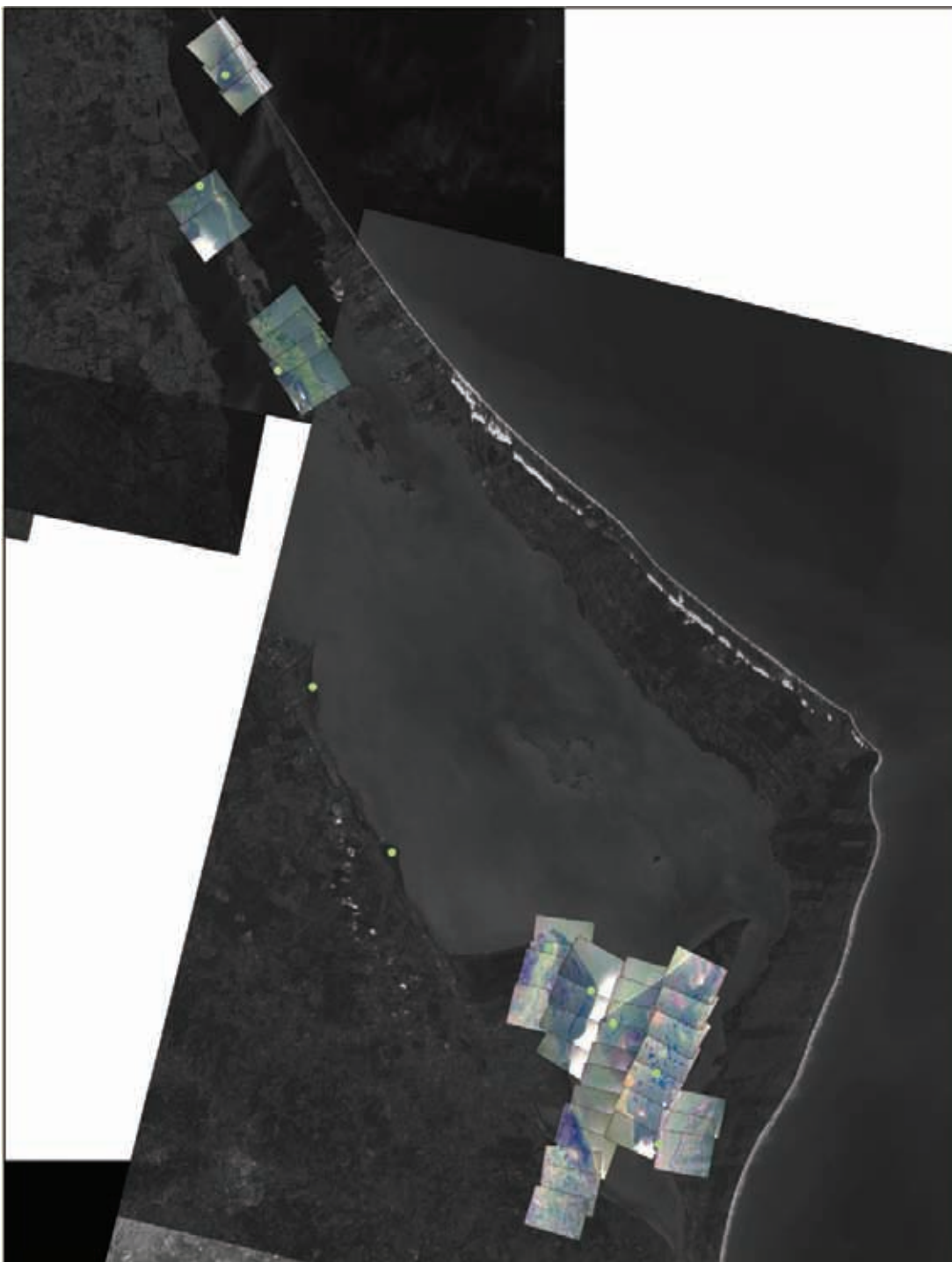


FIGURA 5. Esquema de la Laguna de Tamiahua, compuesta por imágenes SPOT 2005 proporcionadas por Conabio y fotografía aérea 2005 proporcionada por Inecol (López-Portillo *et al.*, 2008).

El grado de salinidad en la mayoría de las lagunas están dentro de un intervalo entre 10 y 30 unidades prácticas de salinidad (UPS), lo que indica una dominancia de aguas de meso a polihalinas (cuadro 1). El mantenimiento de valores promedio, en estos rangos, es un indicativo de la tendencia general de cada laguna, por ejemplo, los sistemas de Tlalixcoyan y Calzadas, ubicadas en la planicie de drenaje del río Papaloapan, el primero, y del río Coatzacoalcos, el segundo, son áreas con bajas salinidades debido al aporte de los ríos que las drenan durante la mayor parte del año (Contreras Espinosa *et al.*, 2002, 2006). Este factor en los sistemas costeros es determinante en la estructura de las comunidades de flora y fauna acuática, ya que están constituidos por una amplia diversidad de organismos, desde componentes marinos a dulceacuícolas. La predominancia de uno u otro está en función de la influencia del río o el mar en el cuerpo de la laguna costera y estuario.

La temperatura del agua es una función de la ubicación latitudinal de las lagunas y estuarios, aunque por la localización entre latitudes tropicales y subtropicales, no existen valores extremos en esta variable. La temperatura presenta valores elevados similares a lo largo del año, fluctuando entre los 25 ° y los 30 °C (cuadro 1; Contreras Espinosa *et al.*, 2002, 2006). Es importante mencionar que el suministro de agua más caliente sobre sistemas tropicales afecta seriamente la ecología lagunar, debido a que los organismos propios de latitudes tropicales generalmente se encuentran muy próximos a sus límites de tolerancia térmica. Por ejemplo, durante la época de estiaje la temperatura del agua alcanza 30 °C por lo que un aumento de 5 °C (aumento calorífico calculado para una planta termoeléctrica) amenaza seriamente a los organismos que habitualmente se encuentran en estos ecosistemas (Contreras Espinosa y Zabalegui, 1988).

La concentración de oxígeno disuelto es tan importante para la vida acuática como lo es para la

vida terrestre, por lo que aguas con bajos niveles de oxígeno o sin éste caracterizan a las “zonas muertas” o sin oxígeno en la plataforma continental adyacente. En el cuadro 1 se observa que los valores promedio de oxígeno disuelto en los sistemas costeros de lagunas y estuarios fluctúa entre 3.0 y 7.0 mg/l. El contenido de oxígeno en estos sistemas está generalmente relacionado con los procesos de descomposición de la materia orgánica dentro de éstos, por ejemplo, la laguna La Mancha registra valores por debajo de los 2.0 mg/l (de hipóxico a anóxico) en la región de Caño Grande donde se observa una gran cantidad de materia orgánica y poco movimiento del agua, mientras que en la Laguna de Tamiahua se encuentran niveles promedio de oxígeno disuelto entre 6.0 y 7.0 mg/l, causados por un eficiente patrón de circulación y renovación de sus aguas interiores, así como por intensa actividad de productores primarios (cuadro 1).

Las lagunas costeras del estado de Veracruz presentan un rango de nutrientes de 0 a 5 µg-at/l (0 a 70 mg/m<sup>3</sup>) para el amonio, de 5 a 10 µg-at/l (70 a 140 mg/m<sup>3</sup>) de nitratos más nitritos y de 0 a 5 µg-at/l (0 a 155 mg/m<sup>3</sup>) de fosfatos. De las formas nitrogenadas, parece existir una dominancia de amonio con respecto a las concentraciones de nitratos más nitritos y podrían considerarse como típicos en esos sistemas costeros. Por ejemplo, el sistema de Calzadas ubicado en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, es un hábitat pantanoso que contiene cantidades significativas de nutrientes y otros compuestos, como el reflejo de intensos procesos de descomposición de materia orgánica proveniente de la vegetación sumergida. Debido a esto, los valores promedio de las formas nitrogenadas en esta laguna rebasan la media para el resto de los sistemas costeros, pero permiten hacer comparaciones con respecto a otros ecosistemas más abiertos.

Las formas fosfatadas se consideran como la principal causa de la presencia de biomasa fitoplanctónica, por lo que su interpretación y seguimiento

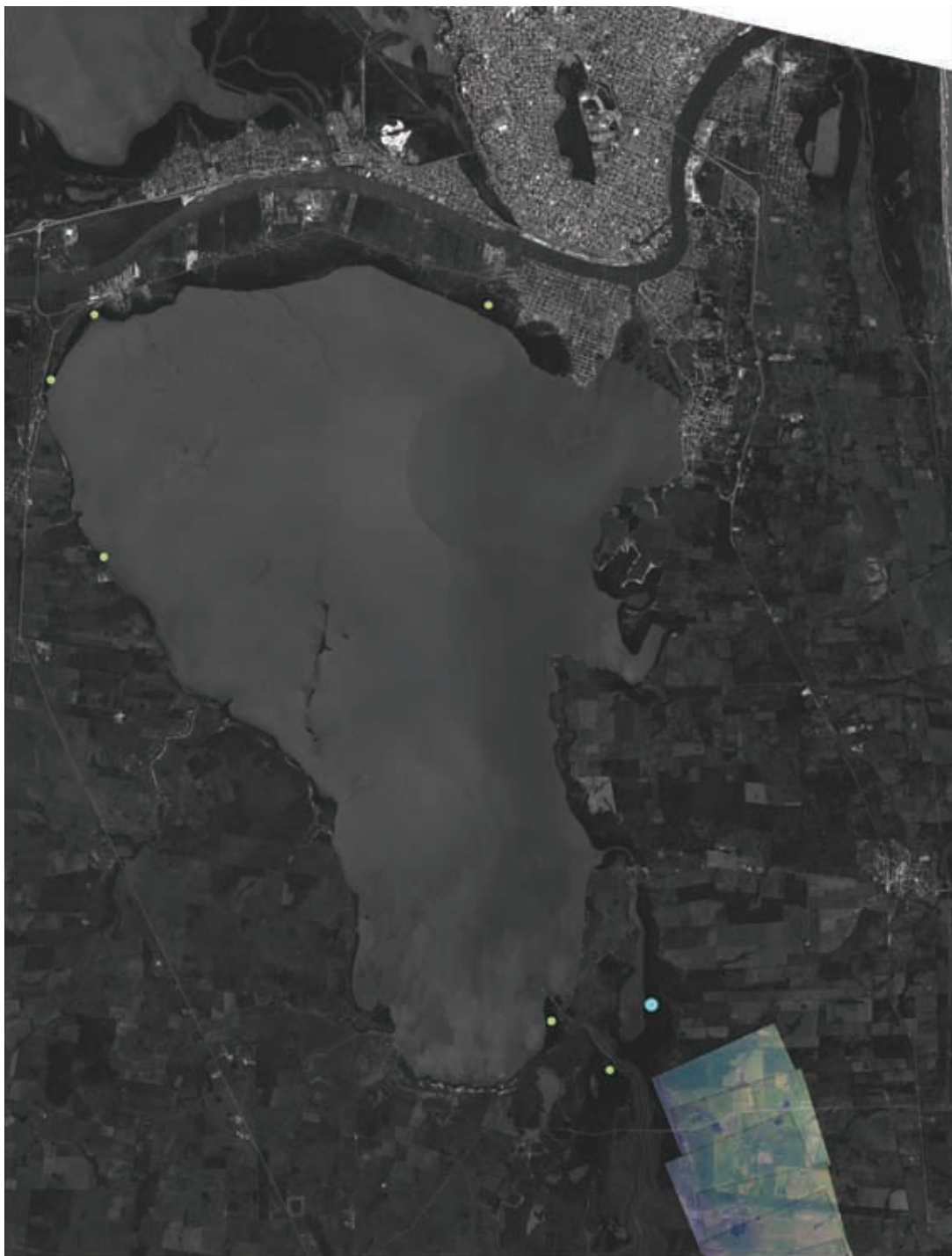


FIGURA 6. Esquema de la Laguna Pueblo Viejo, tomada en 2004 (López-Portillo *et al.*, 2008).

ofrece algunas claves en el comportamiento espacio-temporal de los ecosistemas acuáticos. Lo anterior, se basa en la relación que existe entre estas formas y la cantidad de clorofila *a* en agua (Contreras Espinosa y Kerekes, 1993). Los sistemas acuáticos costeros en donde se registraron los valores más altos en comparación del resto del litoral, son las lagunas de Tampamachoco, El Ostión y el área del río Calzadas en las cuales se encuentran concentraciones por arriba de los 10  $\mu\text{g-at/l}$ .

Es importante destacar los cambios temporales detectados mediante una serie de estudios en la laguna de Tampamachoco durante dos ciclos: en el bienio 1980-1981 (Contreras Espinosa, 1983) y en 1990-1991, encontrándose diferencias significativas en la mayoría de los parámetros. Estos cambios podrían deberse a causas naturales, ya que los sistemas estuarinos tienden a la eutrofización (acumulación gradual de nutrientes), aunque también podrían deberse a la alteración que ha tenido a partir de la construcción de una planta termoeléctrica (Ramírez, 1989), y las descargas de desechos provenientes de asentamientos humanos, incluido un hospital. De esta forma los resultados reflejan un incremento en el contenido de nitrógeno total y considerablemente mayor de fósforo total, llegándose a cuantificar 1 375  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $1.3\text{g}/\text{m}^3$ ) del cual, el mayor porcentaje (del 32 al 86 %) es en la forma inorgánica.

En un estudio reciente donde la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos realizó un monitoreo de las condiciones de las lagunas costeras y estuarios a lo largo del litoral del estado de Veracruz, se clasificó (con base en la calidad del agua) al 76 % de las lagunas costeras y estuarios de propiedades pobres, 23 % como limpias y 1 % como buenas. El 32 % de los sistemas costeros presentaron valores altos de NID (nitrógeno inorgánico disuelto) con una concentración de 0.2 a 1.47  $\text{mg/l}$ ; 28 % con NID de 0.05 a 0.10  $\text{mg/l}$  y el 40 % con menos de 0.05  $\text{mg/l}$  (Macauley *et al.*, 2007).

La concentración de clorofila *a*, se considera como un índice de la biomasa fitoplanctónica y, por tanto, sus resultados evalúan la productividad primaria en la columna de agua. En el cuadro 1 se muestran los intervalos de concentración de clorofila *a* en los sistemas lagunares de Veracruz.

En ocasiones los valores por arriba de lo “normal” en clorofila *a* están ligados a procesos de eutrofización, dado que existe una cantidad “excedente” de biomasa fitoplanctónica, lo que usualmente provoca una sobresaturación de fitoplancton diurno y/o un agotamiento de oxígeno disuelto, principalmente durante la noche.

El incremento de fósforo en la laguna de Tampamachoco se refleja también en su relación N:P (inorgánicos), que en 1980 fue de 5:1 y en 1990 fue de 1:1 lo que propicia un considerable aumento de clorofila *a*, colocando a esta laguna en un estado trófico más alto que el cuantificado diez años atrás. Con respecto a este último parámetro, destacan las lagunas de Mandinga, Pueblo Viejo (figura 6) y Calzadas, por su acumulación de biomasa fitoplanctónica (cuadro 1).

## BIODIVERSIDAD Y SUS USOS

Las lagunas costeras son importantes por la diversidad que albergan y por sus características físicas y ambientales particulares. Los organismos que las habitan son considerados como “resistentes” o adaptados a variabilidad continua de las condiciones del entorno. Por tanto, la comunidad biótica, así como los factores ambientales, se encuentran en un delicado balance entre el disturbio y la inestabilidad.

El carácter ecotonal entre masas de agua dulce y agua salada permite tanto la colonización de organismos de origen acuático continental como de origen marino. Además de lo anterior, hay que destacar la presencia casi siempre permanente de extensas áreas en donde las condiciones salobres de

10 a 25 UPS (masas de agua con concentración de sales intermedia entre agua dulce y marina), genera un ambiente hidrológico idóneo para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y/o eficientemente adaptados a éstos.

De la elevada diversidad ambiental que ofrece la zona costera de Veracruz, destacan los ambientes dulceacuícola, estuarinos y marinos, debido a la complejidad de hábitats favorecida por los sustratos someros sin vegetación, los cubiertos con vegetación acuática sumergida, constituidos principalmente por pastos marinos, macroalgas y, finalmente, la vegetación marginal, compuesta por manglar y palmar. Estos tipos de hábitats proveen refugios y sitios de alimentación y crianza para un gran número de especies de peces juveniles e invertebrados de interés comercial (Thayer *et al.*, 1984). Este tipo de hábitats de pastos marinos son notables por albergar abundancia y riqueza específica de decápodos estuarinos (Heck y Crowder, 1991). En general los sistemas costeros de Veracruz, presentan áreas de manglar, pastos marinos y bancos de ostión (Lara-Domínguez, 2005; López-Portillo *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008; figura 7).



FIGURA 7. Pescador de la Laguna La Mancha lanzando la red de atarraya (Foto: Ana Laura Lara-Domínguez).

Esta complejidad de hábitats se ve reflejada en la diversidad de la fauna estuarina (Minello y Zimmerman, 1991; Rozas y Odum, 1987; Sánchez *et al.*, 1996); la biodiversidad acuática ha comenzado a utilizarse como un indicador de la salud de los sistemas lagunares, tanto en ambientes dulceacuícolas como los estuarinos y principalmente ha sido representada por la ictiofauna (Karr, 1991). Lo anterior se refleja con el desarrollo del Índice de Integridad Biótica Estuarina (EBI: Estuarine Biotic Integrity Index; Weisberg *et al.*, 1997; Deegan *et al.*, 1997).

Sin embargo, y como resultado del incremento de las perturbaciones, tanto naturales como humanas, se ha mantenido la pérdida del hábitat constituido por la vegetación acuática sumergida y marginal (Madden y Kemp, 1996). Esta pérdida en los hábitats acuáticos se refleja en alteraciones de los procesos geoquímicos y ecológicos que son imprescindibles (Kemp *et al.*, 1984; Lubbers *et al.*, 1990).

Estos sistemas también albergan importantes comunidades de aves, pues de las 1 038 especies de aves registradas para todo el país pertenecientes a 86 familias, 22 % se desarrollan en zonas acuáticas. Para el estado sobresale la región de Coatzacoalcos, ya que de los 22 órdenes de aves registradas para México, 18 están representados en esta región, así como casi el 50 % de todas las familias.

## CONCLUSIONES

Veracruz tiene en su litoral al menos 16 lagunas costeras y cuatro estuarios de importancia que constituyen un reservorio de biodiversidad representada por manglares, pantanos, marismas, vegetación acuática sumergida y que conforman un hábitat de crianza y protección de las diferentes etapas del ciclo de vida de la fauna acuática salobre, marina y de agua dulce.

Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran en una dinámica de cambio acelerado, producto de la

contaminación generada por las descargas puntuales de residuos urbanos e industriales sin tratamiento, así como por las descargas no puntuales que contienen residuos de agroquímicos. Además, presentan problemas de azolvamiento provocado por la deforestación en las partes altas de las cuencas que provocan un arrastre de sedimentos. Y por si fuera poco, existen problemas de sobreexplotación de especies pesqueras de importancia comercial.

Por todo lo anterior, es clara la necesidad de generar planes coordinados entre los tres niveles de gobierno y que se implementen a nivel de cuenca, con el fin de proteger las zonas lagunares que aún conservan sus características originales, así como restaurar las que han sido seriamente degradadas por las actividades humanas.

AGRADECIMIENTOS. A los pasantes de Biología, Alondra Berenice González Navarro y Ricardo Marín Perea por la captura de la primera versión del manuscrito, a la doctora Patricia Moreno Casasola por permitir el uso de la información del libro *Estrategia para el Manejo Costero Integral*. Al Instituto de Ecología, A.C. al gobierno de estado de Veracruz-La Llave, a la física Rosario Landgrave por la elaboración de la figura 1 donde se señala la distribución de las lagunas costeras y estuarios, y al físico Eduardo Sáinz-Hernández por la minuciosa revisión y comentarios al manuscrito.

#### LITERATURA CITADA

- AKÉ-CASTILLO, J.A., M.E. Meave y D.U. Hernández Becerril, 1995, Morphology and distribution of the diatom genus *Skelotenema* in a tropical lagoon, en *European Journal of Phycology* 30: 107-115.
- AKÉ-CASTILLO, J.A., G. Vázquez y J. López-Portillo, 2006, Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico, en *Hydrobiología* 559: 101-111.
- BARNES, R.S.K. (ed.), 1980, *Coastal lagoons, Cambridge Studies in modern biology*, Cambridge University Press, 106 pp.
- BARRERA-ESCORCIA, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández Galindo y F. Saavedra-Villeda, 1999, Evaluación microbiológica de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995, *Hidrobiológica* 9 (2): 125-134.
- BOZADA, L. y M. Páez, 1986, Fauna Acuática del río Tonalá, *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos* 7: 172 pp.
- , 1987, Fauna Acuática del río Coatzacoalcos, *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos* 8: 132 pp.
- CARRANZA E., A., M. Gutiérrez E. y R. Rodríguez T., 1975, Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas, *Anales del Centro Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 2 (1): 81-88.
- CASPERS, H., 1967, Estuaries: Analysis of definitions and biological considerations, en Lauff G.H. (ed.), *Estuaries*, American Association for the Advancement, *Science* 83: 6-8.
- CASTAÑEDA L.O. y F. Contreras Espinosa E., 1994, Golfo de México I. (de Tamaulipas y Veracruz), *Serie bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros* 3, UAMI-Conabio, 615 pp.
- CASTILLO-RIVERA, M., G. Moreno y R. Iniestra, 1994, Spatial, seasonal, and diet variation in abundance of the Bay Anchovy, *Anchoa mitchilli* (Teleostei: Engraulidae), in a tropical coastal lagoon of Mexico, *The Southwestern Naturalist* 39(3): 263-268.
- CASTILLO-RIVERA, M., R. Zárate, y L. Sanvicente-Añove, 2003, Patrones de diversidad de peces en la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México, *Hidrobiológica* 13(4): 289-298.
- CLARK, J., 1974, *Coastal Ecosystems*, The Conservation Foundation, 178 pp.
- CLARK, R.C., 1992, *Integrated Management of Coastal Zones*, FAO Fisheries Technical Paper No. 327, Italia, 167 pp.

- COMISIÓN PERMANENTE DEL PACÍFICO, 1984, *Atlas regional de áreas críticas, recursos vulnerables y prioridades de protección de la zona costera y medio marino del Pacífico Sudeste contra la contaminación por petróleo. Instructivo para su identificación y ubicación*, CPPS Universidad Regional del Plan de Acción en colaboración con PNUMA, Programa de Mares Regionales.
- CONTRERAS ESPINOSA, F., 1983, Variación en la hidrología y las concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Ver., México, *Biótica* 8 (2): 202-213.
- , 2006, *Las lagunas costeras de Veracruz*, en P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y C. Travieso (eds.), *Estrategia para el Manejo Costero Integral*, Instituto de Ecología/Gobierno del estado de Veracruz-La Llave, vol. 1: 478 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y L.M. Zabalegui, 1988, *Aprovechamiento del Litoral Mexicano. Centro de Eco-desarrollo*, Secretaría de Pesca, México, 128 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y J.J. Kerekes, 1993, Total phosphorous–chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in México, *Verh International Verein Limnology* 25: 448-451.
- CONTRERAS ESPINOSA F., O. Castañeda L. y A. García N., 1994, La clorofila *a*, como base para un índice trófico de las lagunas costeras mexicanas, *Anales del Instituto Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 21 (1-2): 55-66.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y O. Castañeda L., 1995, *Los Ecosistemas Costeros del estado de Veracruz*, Gobierno del estado de Veracruz/Sedap, 176 pp.
- CONTRERAS Espinosa E.F., O. Castañeda L., R. Torres A. y F. Gutiérrez M., 1996, Nutrientes en 39 Lagunas Costeras Mexicanas, *Revista de Biología Tropical* 44 (2): 417-425.
- CONTRERAS ESPINOSA E.F., O. Castañeda, E. Barba y M.A. Pérez, 2002, Caracterización e importancia de las Lagunas Costeras, en Instituto Nacional de la Pesca y Universidad Veracruzana (coord.), *La Pesca en Veracruz y sus Perspectivas de Desarrollo*, SAGARPA/INP/UV, 436 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y O. Castañeda, 2004, *Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos*, en M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.) *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*, Semarnat/INE/Inecol/HARP-Institute, vol. 1, 628 pp.
- CONTRERAS ESPINOSA, F. y B.G. Warner, 2004, Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in México, *Hydrobiología* 511: 233-243.
- CONTRERAS ESPINOSA, E.F., O. Castañeda y N. Rivera-Guzmán, 2006, La Laguna, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México, 576 pp.
- CHÁVEZ, R. y J. Franco, 1993, Respuesta de una comunidad de peces ante un impacto ambiental en Boca Camaronera, Alvarado, Veracruz, *Hidrobiológica* 2(1-2): 25-33.
- DEEGAN L.A., J.T. Finn, S.G. Ayvazian, C.A. Ryder-Kiefer y J. Bounaccorsi, 1997, Development and validation of an estuarine biotic integrity index, *Estuarios* 20 (3): 601-607.
- DÍAZ-RUIZ, S., M.A. Pérez-Hernández y A. Aguirre-León, 2003, Caracterización de los conjuntos de peces en una laguna costera tropical del noroeste del Golfo de México, *Ciencias Marinas* 29 (4B): 631-644.
- DÍAZ-RUIZ, S., A. Aguirre-León, M. Juárez, P. Sandoval, J.J. Matsumoto y J.A. Hernández, 2008, Evaluación ecológica de las comunidades de peces: Laguna La Mancha y Laguna el Ostión, Veracruz Golfo de México, en *Informe Etapa 02, Proyecto de Investigación: Evaluación de los Recursos Naturales y la Productividad Pesquera de dos Lagunas Costeras ante el Impacto del Cambio Climático y el Ascenso del Nivel Medio del Mar: Laguna La Mancha y Laguna el Ostión*, Veracruz Golfo De México, FOMIX 37014
- FLORES, F., A. García Cubas y A. Toledano, 1988, Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Laguna de La Mancha, Veracruz, México, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 15 (2): 235-258.

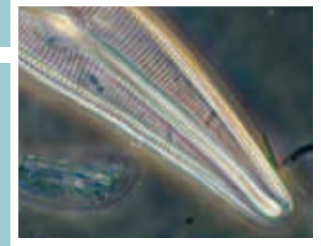
- FRANCO, J. y R. Chávez, 1993, Síntesis sobre el conocimiento de la ictiofauna de la laguna de Tamiahua, Veracruz, México, *Hidrobiológica* 2(1-2): 53-63
- FRANCO J., R. Chávez L., E. Peláez R. y C. Bedia S., 1996, Riqueza ictiofaunística del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, *Revista Zoológica* (núm. esp. 2): 17-32.
- GARCÍA CUBAS, A.M. Reguero y R. Elizarrarás, 1992, Moluscos del sistema lagunar Chica-Grande, Veracruz, México: sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 19(1): 71-101.
- GARCÍA CUBAS, A. y M. Reguero, 1995, Moluscos de la Laguna Sontecomapan, Veracruz, Mexico: sistemática y ecología, *Hidrobiológica* 5:1-24.
- HARGRAVE, B.T. y G.F. Conolly, 1978, A device to collect supernatant water for measurement of the flux of dissolved compound across sediment surface, *Limnology and Oceanography* 23: 1005-1010.
- HECK, K.L. JR. y L.B. Crowder, 1991, Habitat structure and predator-prey interactions in vegetated aquatics systems, en Bell, S.S., E D. McCoy y H.R. Musinsky (eds.), *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*, pp. 281-299.
- HERZIG, M., 1986, Medio ambiente en Coatzacoalcos, las Aves. *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos* 4: 230 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), SECRETARÍA DE PESCA (Sepesca), 1987, *Carta básica nacional de información pesquera*. DGI: SNIIPP.
- INMAN, D.J. y C.E. Nordstrom, 1971, On the tectonic and morphologic classification of coast, *Journal of Geology* 49 (1): 1-21.
- JUÁREZ, A., J.L. Rojas Galaviz, C. Mora y D. Zárate Lomelí, 2006, Los peces, en P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México, 576 pp.
- KARR, J.R., 1991, Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management, *Ecological Applications* 1: 66-84,85.
- KEMP, W., W.R. Boynton, J.C. Stevenson y L.G. Ward, 1984, Influence of submersed vascular plants on ecological processes in upper Chesapeake Bay, en V.S. Kennedy, (ed.), *The estuary as a filter*, Academy Press, Nueva York.
- KLUMP, J.V. y C.S. Martens, 1981, Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 101-121.
- LARA-DOMÍNGUEZ, A.L., 2005, Pastos marinos, en P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso Bello (eds.), *Manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*, Instituto de Ecología/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Xalapa, Ver. México, 1266 pp.
- LARA-DOMÍNGUEZ A.L., E. Sáinz, R. Landgrave, A.B. González, R.A. Marín y J.W. Day, 2008, Evaluación ambiental y de las comunidades de peces en la boca de conexión de la Laguna La Mancha y Laguna el Ostión, Veracruz Golfo de México, en *Informe Etapa 02, Proyecto de Investigación: Evaluación de los Recursos Naturales y la Productividad Pesquera de dos Lagunas Costeras ante el Impacto del Cambio Climático y el Ascenso del Nivel Medio del Mar: Laguna La Mancha y Laguna el Ostión*, Veracruz Golfo de México, FOMIX 37014, 56 pp.
- LARA DOMÍNGUEZ, A.L., J. Franco López, C. Bedia Sánchez, L.G. Abarca Arenas, S. Díaz Ruiz, A. Aguirre León, C. González Gándara, M. Castillo-Rivera 2010. Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental. en *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Conabio.
- LANKFORD, R.R., 1997, Coastal lagoons of Mexico, Their origin and classification, en M Wiley (ed.), *Estuarine Process*, Academic Press, 230 pp.
- LIKENS, G.E. (ed.), 1972, *Nutrients y eutrophication*, Limnology and Oceanography, 1378 pp.
- LÓPEZ-PORTILLO J., V.M. Vásquez Reyes, L.R. Gómez Aguilar, 2008, *Atlas de los manglares de Veracruz distribución, estructura, cartografía e implicaciones para su manejo. Informe Técnico del Proyecto: Sistema costero del Estado de Veracruz: fisiografía, geomorfología, riesgos y ecología de manglares y dunas costeras: implicaciones para su manejo*, SEMARNAT-2002-CO1-0126, 62 pp.

- LUBBERS, L., W.R. Boynton y W.M. Kemp, 1990, Variations in structure of estuarine fish communities in relation to abundance of submersed vascular plants, *Marine Ecology Progress Series* 65: 1-14.
- MACAULEY, J.M., L.C. Harwell y H. Alafita, 2007, The ecological condition of Veracruz, México estuaries, *Environmental Monitoring and Assessment* 133: 177-185.
- MADDEN, C.J. y W.M. Kemp, 1996, Ecosystem model of an estuarine submersed plant community: calibration and simulation of eutrophication responses, *Estuarios* 19 (2B): 547-474.
- MARGALEF, R., 1974, *Ecología*, Omega, 953 pp.
- MARTENS, C.S., 1982, Biogeochemistry of organic-rich coastal lagoon sediment, *Oceanologica Acta*, vol. especial 5: 161-167.
- MARTÍNEZ, M.L., P. Hesp, N. Rodríguez y O. Jiménez, 2008, *Las dunas costeras del estado de Veracruz. Informe Técnico del Proyecto: Sistema costero del Estado de Veracruz: fisiografía, geomorfología, riesgos y ecología de manglares y dunas costeras: implicaciones para su manejo*, SEMARNAT-2002-CO1-0126, 15 pp.
- MINELLO, T.J. y R.J. Zimmerman, 1991, The role of estuarine habitats in regulating growth and survival of juvenile penaeid shrimp, en P.P.F. DeLoach, W.J. Dougherty y M.A. Davidson (eds.), *Frontiers of shrimp research*, Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 22. Elsevier, Ámsterdam: 1-16.
- MORENO-CASASOLA, P., J.L. Rojas Galaviz, D. Zárate Lomelí, M.A. Ortiz, A.L. Lara-Domínguez y T. Saavedra, 2002, Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques* 8 (número especial 1): 61-88.
- ODUM, H.T. y B.J. Copeland, 1974, A functional classification of the coastal ecological system, en H.T. Odum, B.J. Copeland y E.A. McMahan (eds.), *Coastal Ecological System of the United States*, Conservation Foundation Washington, NOAA, I: 5-84.
- ODUM, P.E., 1980, La diversidad como función del flujo de energía, en W.H. van Dobben, y R.H. Lowe-McConnel (eds.), *Conceptos unificadores en ecología*, Blume Ecología, pp. 14-18.
- ORTIZ Pérez, M.A. y G. de la Lanza, 2006, *Diferenciación del espacio costero de México: Un inventario regional*, Instituto de Geografía, UNAM, 152 pp.
- PARADOWSKA, K., 2006, El doblamiento y el territorio, en: P. Moreno-Casasola (ed.), *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa Ver. México, 576 pp.
- PEREYRA, D. y J.A. Pérez, 2006, Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el Estado de Veracruz, en Tejeda A. y C. Welsh (coords.), *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana/COVECyT, 432 pp.
- PÉREZ-HERNÁNDEZ, M.A. y R.E. Torres-Orozco B., 2000, Evaluación de la riqueza de especies de peces en las lagunas costeras mexicanas: estudio de un caso en el Golfo de México, *Revista Biología Tropical* 48(2-3): 425-438.
- PRITCHARD, D.W. 1967, What is an estuary?: Physical viewpoint, en: G.H. Lauff (ed.), *Estuaries, American Association for the Advancement of Science* 83: 3-5.
- RAMÍREZ G.R., 1989, *Diagnóstico ecológico de la laguna de Tampamachoco, Ver. Esquema conceptual*, Resumen del Coloquio de Investigación Hidrobiológica, Tampamachoco, UAM-X.
- REGUERO, M. y A. García Cubas, 1989, Moluscos de la laguna de Alvarado, Veracruz: Sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* UNAM, 16(2): 279-305.
- , 1991, Moluscos de la Laguna Camaronera, Veracruz, México: Sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 18(1): 1-23.
- , 1993, Moluscos de la laguna Pueblo Viejo, Veracruz, México: sistemática y ecología, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 20(1): 77-104.
- REGUERO, M., A. García-Cubas y G. Zúñiga, 1991, Moluscos de la Laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología, *Anales del Instituto de*

- Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 18(2): 289-328.
- RESTREPO, I. (coord.), 1995, *Desarrollo sustentable en el Golfo y Caribe de México*, Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. México, 270 pp.
- ROZAS, L.P.P. y E.W. Odum, 1987, Use of tidal freshwater marshes by fishes and macrofaunal crustaceans along a marsh stream-order gradient, *Estuarios* 10: 36-43.
- RUELAS-MONJARDÍN, L.C., J.M. Ham, 2005, *Acciones para el manejo y conservación de un cuerpo de agua estatal en peligro de extinción: el caso de la Laguna Farallón, Actopan, Ver.*, 1er Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico, 2-4 de mayo, 2005 / Boca del Río, Veracruz, México.
- SÁNCHEZ J., A., A Raz-Guzmán y E. Barbar, 1996, *Habitat value of seagrasses for decapods in tropical coastal lagoons of the southwestern Gulf of México: an overview*, Proceedings of an International Workshopp, Rottneest Island, Western Australia: 25-29.
- SHERPARD, F.P., 1973, *Submarine geology*, Harper and Row Pub., 517 pp.
- SNEDAKER, C.S. y CH.D. Getter, 1985, *Costas. Pautas para el manejo de los recursos costeros. Serie de Información sobre Recursos Renovables. Publicación, 2 sobre Manejo de Costas*, National Park Service, USD, 286 pp.
- STEER, R., Arias-Isaza F., Ramos A., Sierra-Correa P., Alonso D., Ocampo P., 1997, *Documento base para la elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras Colombianas*, Documento de consultor para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie publicaciones especiales, 6413 pp.
- TÉLLEZ, H.J., 2004, *Condiciones meteorológicas en la ciudad y puerto de Veracruz, del siglo XVI al XXI*, Colección Historias de San Juan de Ulúa en la Historia, 5, INAH, México, 159 pp.
- THAYER, G.M., K.A. Bjorndal, J.C. Ogden; S.L. Williams y J.C. Ziemann, 1984, Role of larger herbivores in seagrass system, *Aquat. Bot.* 50: 201-205.
- TOLEDO, A., 1988, *Energía, Ambiente y Desarrollo*. Centro de Ecodesarrollo, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, 15, 384 pp
- UNESCO, 1981, *Coastal Lagoon research, present and future*. UNESCO Technical Papers in Marine Science, 32, 97 pp.
- VÁZQUEZ-BOTELLO, A., G. PONCE VÉLEZ, A. TOLEDO, G. DÍAZ Y S. VILLANUEVA, 1992, Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México, *Ciencia y Desarrollo* 17(102): 28-48.
- VÁZQUEZ-BOTELLO, A., J.L. Rojas G., J.A. Benítez y D. Zárate L. (eds.), 1996, *Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnósis y Tendencias*, 1ª edición, Universidad Autónoma de Campeche Programa EPOMEX, Serie Científica, 5, 666 pp.
- WEISBERG, S.B., J.A. Ranasinghe, L.C. Schaffner, R.J. Díaz, D.M. Dauer y J.B. Frithsen, 1997, An Estuarine benthic index of biotic integrity (IB-IBI) for Chesapeake Bay, *Estuarios* 20 (1): 149-457.



# Ecología y productividad primaria de microalgas marinas y mixohalinas



Yuri B. Okolodkov  
Roberto Blanco Pérez

Entre las microalgas marinas se destacan dos grupos ecológicos principales en términos de abundancia, biomasa y productividad primaria: fitoplancton y microfítobentos, incluyendo las algas epífitas. Mientras las microalgas bentónicas se distribuyen en la zona costera alrededor de los continentes e islas, el fitoplancton es una parte importante de las redes tróficas en la zona costera así como en el mar abierto, además de ser el responsable en la generación de la mayor parte del oxígeno en el planeta. Algunas especies de microalgas pueden servir como indicadores de eutrofización natural o antropogénica, de las corrientes oceánicas y masas de agua, de los cambios climáticos regionales o globales. El problema de conservación de las microalgas todavía no es un objeto de investigación. Al contrario, frecuentemente los científicos están buscando las medidas para erradicar o mitigar las proliferaciones algales masivas que han tenido impacto en la salud humana o los ecosistemas costeros, debido a su toxicidad y otras características fisiológicas nocivas para el ser humano o los organismos marinos.

Los principales grupos taxonómicos del fitoplancton marino para el estado de Veracruz son en su mayoría diatomeas centrales y dinoflagelados (figuras 1-8). Además, se han registrado especies de cocolitofóridos, silicoflagelados, criptofitas y euglenofitas. Las algas verdes, cianofitas y crisofitas son más características para los ambientes dulceacuícolas. Algunas xantofitas han sido registradas exclusivamente en las aguas dulces. Algunos trabajos se dedican al estudio de la estructura y distribución de las comunidades fitoplanctónicas durante un periodo de tiempo limitado; comúnmente corresponden a la duración de un crucero. Usando el análisis diferencial de los índices de similitud entre estaciones oceanográficas, se determinaron dos comunidades diferentes, relacionadas principalmente con la temperatura y probablemente con las masas de agua (Avendaño-Sánchez y Sotomayor-Navarro, 1982). Estos autores observaron un aumento en la diversidad en la zona de interacción de las circulaciones ciclónicas y anticiclónicas. El estudio sobre la influencia de la descarga de aguas

calientes de una planta termoeléctrica a las comunidades fitoplanctónicas en la Laguna de Tampamachoco, durante seis periodos semanales de muestreo en 1993-1994, no mostró ningún cambio significativo en la estructura comunitaria, sino que ocasionó un decremento de su tasa fotosintética (Martínez-Arroyo *et al.*, 2000). En lagunas costeras se pueden observar dos tipos de comunidades al mismo tiempo, marinas y dulceacuícolas (Santoyo y Signoret, 1975). Tal vez en algunas lagunas con características estables de salinidad se puede observar la flora particular de las aguas salobres, sin embargo, ésta no ha sido registrada.

Las mareas rojas o florecimientos algales nocivos pueden ser ocasionados por varios organismos acuáticos, pero en su mayoría por dinoflagelados marinos. Los reportes sobre este tipo de eventos en las aguas veracruzanas son escasos. Estos han sido observados en octubre-noviembre de 1955, en octubre de 2002, en 2005 y 2006, causados por *Karenia brevis* (Davis) G. Hansen & Moestrup y *Peridinium quinquecorne* T.H. Abé, respectivamente (Ramírez-Granados, 1963; Barón-Campis *et al.*, 2005; Ramírez-Camarena y Hernández-Becerril, 2006; Okolodkov *et al.*, 2007). Por lo menos durante verano-otoño se encuentra en la columna de agua abundancia de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* H. Perag. Algunas de ellas producen el ácido domóico y son causantes potenciales del envenenamiento amnésico por consumo de mariscos. Además, existe un peligro potencial del fenómeno conocido como “marea café”, causado por un alga de la clase Pelagophyceae, *Aureoumbra lagunensis* Stockwell, DeYoe, Hargraves *et Johnson*. En 1990-1998, esta especie contribuyó con más de 95 % de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Madre, Texas (López-Barreiro *et al.*, 1999; Villareal *et al.*, 2004). Estos autores encontraron *A. lagunensis* en la Laguna Madre en el estado de Tamaulipas, sin embargo, el muestreo en la Laguna Pueblo Viejo y Laguna de Tamiahua, Veracruz, no dio resultados positivos.



FIGURA 1. *Peridinium quinquecorne*, dinoflagelado causante de florecimientos nocivos recurrentes en la zona costera de Veracruz. Escala: 10  $\mu$ m (Foto: tomada con microscopio electrónico de barrido por M. Hoppenrath).



FIGURA 2. Proliferación masiva de *P. quinquecorne* en la dársena del puerto de Veracruz (Foto: Yuri Okolodkov).

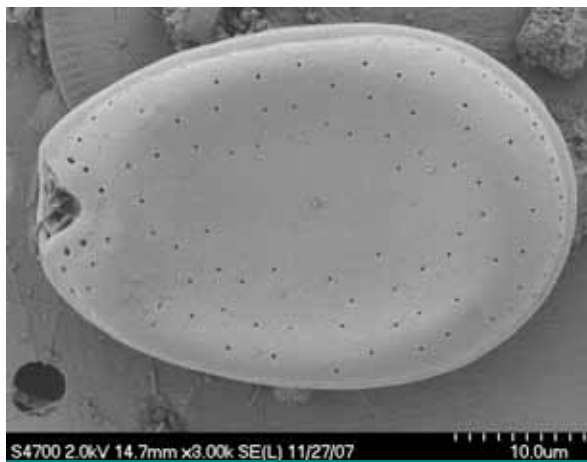


FIGURA 3. *Prorocentrum lima* (Ehrenb.) F. Stein, dinoflagelado epifítico que contribuye a la ciguatera en la zona tropical. Escala: 10  $\mu$ m (Foto: tomada con microscopio electrónico de barrido por M. Hoppenrath).



FIGURA 5. *Ornithocercus quadratus* F. Schütt, dinoflagelado oceánico que se presenta en asociación con la cianofita exosimbiótica *Synechococcus carcerarius* R.E. Norris (flechas). Escala: 10  $\mu$ m (Foto: Yuri Okolodkov).



FIGURA 4. Pasto marino *Thalassia testudinum* Banks ex König, un hábitat común para las microalgas y macroalgas filamentosas (Foto: Yuri Okolodkov).



FIGURA 6. Cianofita *Anabaena* sp., causante de florecimientos masivos en las lagunas costeras de Veracruz. Escala: 10  $\mu$ m (Foto: Yuri Okolodkov).

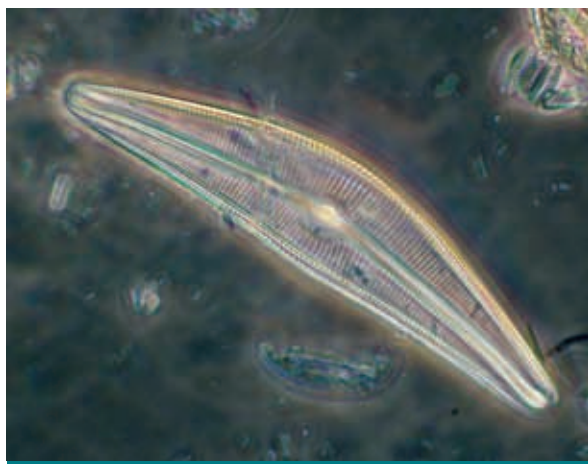


FIGURA 7. Frústula de la diatomea penada *Cymbella* sp., un integrante del microfítobentos. Escala: 10  $\mu$ m (Foto: Yuri Okolodkov).



FIGURA 8. Cabezas de coral *Diploria strigosa* (Dana) están asociadas con macroalgas, un hábitat típico para microalgas bentónicas y epífitas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Foto: Yuri Okolodkov).

Los datos sobre la productividad primaria y de la biomasa del fitoplancton, en términos del contenido de clorofila *a* (*Cl a*) son escasos. Los estudios se realizaron principalmente en la Laguna de la Mancha (Villalobos *et al.*, 1984; Barreiro-Güemes y Martínez, 1990; Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés, 1991; Contreras-Espinosa *et al.*, 2005). Estos autores midieron la productividad primaria, el contenido de *Cl a* y calcularon la relación C:*Cl a* (cuadro 1). Esta última relación refleja la eficiencia fotosintética (Banse, 1974, 1977), mientras que la cantidad de *Cl a* en el agua ha sido considerada tradicionalmente como un índice de la biomasa fitoplanctónica y ha sido utilizada para detectar problemas de eutrofización (Castillo, 1983; Contreras-Espinosa *et al.*, 2005). Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés (1991) registraron los valores máximos de la productividad primaria durante las épocas de lluvias y nortes (octubre del 1989), especialmente en la zona cercana a la boca de intercomunicación con el mar. En 2002-2003 la productividad primaria fue menor durante la fase de boca abierta (agosto-octubre) en comparación al valor registrado para el periodo de boca cerrada (diciembre), y presentó un comportamiento inverso al de la *Cl a* (Contreras-Espinosa *et al.*, 2005). Se sugiere que la relación N:P (nitrógeno:fósforo) controla el proceso de fotosíntesis (Hecky y Kilham, 1988; Contreras-Espinosa *et al.*, 2005) y no la concentración de nutrientes. Los datos sobre la productividad primaria y la concentración de *Cl a* del mar abierto del estado de Veracruz son escasos.

Otros datos sobre la biomasa y productividad primaria fueron obtenidos en la Laguna Pueblo Viejo, la Laguna de Tampamachoco, el sistema estuarino Boca del Río-Mandinga, frente al río Coatzacoalcos y a la Laguna Alvarado (Castillo, 1983; Cantur, 1984, De la Lanza-Espino y Cantur, 1986; González-Ávila y Martínez-Arroyo, 1996; Martínez-Arroyo *et al.*, 2000, y otros). Las bacterias fotosintéticas también pueden contribuir significativamente a la productividad primaria (hasta con un

91 % anualmente) en los ecosistemas acuáticos. En esta laguna se encontraron bacterias fotótrofas no sulfurosas de la familia Rhodospirillaceae (Rojano-Vilchis *et al.*, 1998). En la misma laguna se mostró la presencia de bacterias fotosintéticas rojas de azufre de Chromatiaceae (Núñez-Cardona, 2002).

CUADRO 1. Productividad primaria, concentración de clorofila *a* (Cl *a*) y la relación C:Cl *a* en la Laguna de La Mancha (se dan valores promedios y entre paréntesis valores mínimos y máximos).

| PRODUCTIVIDAD PRIMARIA (mgC/m <sup>3</sup> /h) | Cl <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> ) | C:Cl <i>a</i> (mgCm <sup>-3</sup> :h:mg <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup> ) | AUTOR                                   |
|--|----------------------------------|---|---|
| 69.88<br>(19.8-123.4)                          | 9.42<br>(4.3-23.3)               | 6.65<br>(2.13-23.7)   | Villalobos <i>et al.</i> , 1984         |
| 120  | no hay datos                     | 14.8  | Barreiro-Güemes y Martínez, 1990        |
| 77.8<br>(9.1-165.0)                            | 19.32<br>(4.6-29.0)              | 5.84<br>(1.1-11.0)  | Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés, 1991 |
| (29.84-158.63)                                 | (3.04-11.30)                     | (2.50-28.09)  | Contreras-Espinosa <i>et al.</i> , 2005 |

Aunque muchos trabajos incluyen la información sobre los índices de diversidad, realmente el conocimiento sobre la diversidad específica es deficiente. Ellos adolecen del análisis taxonómico satisfactorio, sin mencionar exhaustivo, y los datos taxonómicos son frecuentemente reemplazados por un análisis estadístico. Los estudios de los ciclos anuales y circadianos de la comunidad planctónica son muy importantes, porque tienen el valor potencial de poder predecir los cambios causados por el factor antropogénico o detectar o pronosticar el desarrollo masivo de las especies potencialmente nocivas. Nuestro conocimiento de las comunidades y asociaciones fitoplanctónicas está basado, principalmente, en los estudios de la zona estuarina, en lagunas, mientras la información de las del mar abierto es escasa. El fenómeno

de los florecimientos algales nocivos nos obliga a establecer y poner en marcha un monitoreo intersectorial y más profesional, con el fin de predecir y mitigar los efectos negativos de las mareas rojas; el monitoreo debe incluir muchos elementos, tales como el cultivo de las algas nocivas y estudios interdisciplinarios con imágenes de satélite. El estado de Veracruz debe estar preparado y capacitado para una amenaza potencial, como la invasión de las algas de la clase Pelagophyceae, causantes de la “marea café”, que se ha detectado o presentado en los estados de Texas y Tamaulipas. Los estudios de la productividad primaria en las lagunas de Veracruz, cuyos pioneros fueron Villalobos *et al.* (1984) son importantes para la conservación, rehabilitación y restauración de los ecosistemas. Existen trabajos basados en estudios comparativos de la productividad de fitoplancton, manglares y de los manchones de *Halodule wrightii* Asch. (Cymodoceaceae) en las praderas (*e.g.*, Barreiro-Güemes y Martínez, 1990; Barreiro-Güemes y Balderas-Cortés, 1991). Sin embargo, no hay publicaciones que nos permitan comparar la productividad de fitoplancton, de microalgas y macroalgas bentónicas. Además, no hay datos publicados sobre la productividad primaria en el mar abierto a las profundidades de más de 36-40 m. Relacionar e integrar la diversidad biológica con la productividad primaria es un reto importante y puede ser uno de los objetivos prioritarios en los estudios de biodiversidad para el estado de Veracruz, a mediano y largo plazo.

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos a Blanca Pérez-García de la UAM-Iztapalapa y a Ismael Gárate-Lizárraga del CICIMAR-IPN, La Paz, B.C.S., por la revisión del manuscrito; a Mona Hoppenrath de Senckenberg Research Institute, German Center for Marine Biodiversity Research, Wilhelmshaven, Alemania, por las microfotografías electrónicas.

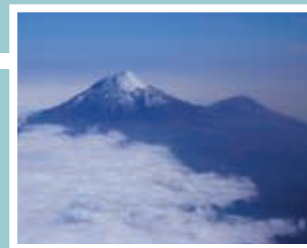
## LITERATURA CITADA

- AVENDAÑO-SÁNCHEZ, H. y O. Sotomayor-Navarro, 1982, Estructura y distribución de las comunidades fitoplanctónicas de la zona sureste del Golfo de México, verano de 1980, *Investigaciones Oceanográficas* (Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía, Biología Marina, México), 1(3): 79-96.
- BANSE, K., 1974, On the interpretation of data for the carbon-to-chlorophyll ratio of phytoplankton, *Limnology and Oceanography* 19: 695-699.
- , 1977, Determining the carbon-to-chlorophyll ratio of natural phytoplankton, *Marine Biology* 41: 199-212.
- BARÓN-CAMPIS, S., D.U. Hernández-Becerril, N.O. Juárez-Ruiz y C. Ramírez-Camarena, 2005, Marea roja producida por *Peridinium quinquecorne* en Veracruz, México (oct-nov, 2002): morfología del agente causal, *Hidrobiológica* 15(1): 73-78.
- BARREIRO-GÜEMES, M.T. y J. Balderas-Cortés, 1991, Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la laguna de La Mancha, Veracruz, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM* 18(2): 229-245.
- BARREIRO-GÜEMES, M.T. y M.T. Martínez A., 1990, Evaluación de algunas comunidades de productores primarios de la laguna de La Mancha, Veracruz, Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Oceanografía. p. 13.
- CANTUR, M.C., 1984, *Determinación de pigmentos del fitoplancton de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz*, tesis profesional, Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Zaragoza" Iztacala, UNAM, México, 77 pp.
- CASTILLO T., A.G., 1983, *Productividad primaria en la laguna de Pueblo Viejo, Ver., en el periodo mayo-octubre de 1982*, tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 85 pp.
- CONTRERAS-ESPINOSA, F., N.E. Rivera-Guzmán y R. Segura-Aguilar, 2005, Nutrientes y productividad fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México, *Hidrobiológica* 15(3): 299-310.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. y M.C. Cantur, 1986, Cuantificación de clorofilas y aplicación del índice de diversidad de pigmentos ( $D_{430}/D_{665}$ ) para estimar el estado biótico de la laguna de Pueblo Viejo, Ver., *Universidad y Ciencia* 3(5): 31-41.
- GONZÁLEZ-ÁVILA, M.E. y A. Martínez-Arroyo, 1996, Estudio del efecto de la temperatura en la fotosíntesis de una comunidad fitoplanctónica marina, en una zona de operación termoeléctrica (Tuxpan, Veracruz, México), en I Reunión Internacional de Planctología y VIII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, Programa y Resúmenes, 23 a 26 de abril de 1996, Pátzcuaro, Michoacán, p. 21.
- HECKY, R.E. y R. Kilham, 1988, Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environment: A review of recent evidence on the effects of enrichment, *Limnology and Oceanography* 33: 796-822.
- LÓPEZ-BARREIRO, M.T., T. Villarreal y M.T. Barreiro-Güemes, 1999, Identificación por inmunofluorescencia de *Aureoumbra lagunensis*, especie causante de la marea café de Texas, en el Golfo de México, en X Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, III International Meeting of Planktology, 28-30 de abril de 1999, Mazatlán, Sinaloa, p. 12.
- MARTÍNEZ-ARROYO, A., S. Abundes, M.E. González y I. Rosas, 2000, On the influence of hot-water discharges on phytoplankton communities from a coastal zone of the Gulf of Mexico, *Water, Air and Soil Pollution* 119: 209-230.
- NÚÑEZ-CARDONA, M.T., 2002, Pigmentos fotosintéticos de las bacterias pláncicas de la Laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz, México, en XII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, V International Meeting of the Mexican Society of Planktology, 6-9 de mayo del 2002, Xalapa, Ver., p. 81.
- OKOLODKOV Y.B., G. Campos-Bautista, I. Gárate-Lizárraga, J.A.G. González-González, M. Hoppenrath y V. Arenas, 2007, Seasonal changes of benthic and epiphytic dinoflagellates in the Veracruz reef zone, Gulf of Mexico, *Aquatic Microbial Ecology* 47: 223-237.

- RAMÍREZ-CAMARENA, C. y D.U. Hernández-Becerril, 2006, Mareas rojas de *Karenia brevis* en costas mexicanas del Golfo de México: revisión de 1996 a 2005, en CD de Memorias del XIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, 13-15 de noviembre de 2006, Veracruz, México, pp. 93-94.
- RAMÍREZ-GRANADOS, R., 1963, Marea roja. Datos para su conocimiento y pronóstico. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Pesca e Industria Conexas, serie: Trabajos de Divulgación 4(35): 1-9.
- ROJANO-VILCHIS, N.A., M.J. Ferrara-Guerrero y M.T. Núñez-Cardona, 1998, Caracterización de bacterias pláncicas fotótrofas aisladas a partir de muestras de agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz (México), en IX Reunión de la Sociedad Mexicana de Planctología A.C. y II Reunión Internacional de Planctología, Programa y Resúmenes, 22-24 de abril del 1998, Mérida, Yucatán, p. 22.
- SANTOYO, R.H. y M. Signoret, 1975, Fitoplancton de la Laguna Salada y zona costera adyacente, Veracruz (septiembre, 1973), *Revista Latinoamericana de Microbiología* 17: 169-173.
- VILLALOBOS, F.A., V.R. De la Parra, B.E. Galván, O.J. Cacho R. y M.A. Izaguirre P., 1984, Estudio hidrobiológico de la laguna de La Mancha, Municipio de Actopan, Veracruz, 1979-1980, *Cuadernos de Divulgación*, INIREB 15: 1-51.
- VILLAREAL, T.A., T. Chirichella y E.J. Buskey. 2004. Regional distribution of the Texas brown tide (*Aureoumbra lagunensis*) in the Gulf of Mexico, en K.A. Steidinger, J.H. Landsberg, C.R. Tomas y G.A. Vargo (eds.), *Harmful Algae 2002*, Xth International Conference, St. Pete Beach, Florida, USA, October 21-25, 2002. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Institute of Oceanography, and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, pp. 374-376.



# Amenazas a los recursos hídricos



Octavio Pérez-Maqueo  
Lyssette Muñoz-Villers  
Gabriela Vázquez  
Miguel Equihua  
Pedro León Romero

*Hicimos de agua a cada ser vivo*  
EL CORÁN (SURA 21:30).

## INTRODUCCIÓN

El volumen total de agua en el mundo es de 1 385 984 510 000 hm<sup>3</sup>.<sup>1</sup> De este total, 97 % se encuentra en los océanos, mares y bahías; 1.7 % en las capas de hielo y glaciares; 1.6 % es agua subterránea y sólo el 0.013 % (189 990 000 hm<sup>3</sup>) corresponde al agua dulce superficial líquida contenida en ríos, pantanos y lagos (Gleick, 1996). Los 189 990 000 hm<sup>3</sup> llenarían aproximadamente 189 300 000 depósitos de agua del tamaño del Estadio Azteca de la Ciudad de México. Distribuida en el mundo por el ciclo

hidrológico, a su vez impulsado por el flujo energético, el agua interviene en la mayoría de los otros ciclos biogeoquímicos y determina gran parte de las condiciones climatológicas en la troposfera<sup>2</sup>. Aunque la mayor parte del agua en el ciclo hidrológico terrestre es salina, es el agua dulce, con tan sólo el 3 % del total planetario, la que ha sido un catalizador en el desarrollo de nuestras civilizaciones. Los seres humanos necesitamos del agua de forma tal que las diferencias en su disponibilidad significan grandes contrastes en el bienestar y el desarrollo. La importancia que tiene el agua, tanto para el hombre como para los procesos funcionales de los ecosistemas, está reflejada en el capítulo 18 de la Agenda 21 adoptado en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992, donde se indica que:

<sup>1</sup> Un hm<sup>3</sup> es igual a un millón de metros cúbicos.

<sup>2</sup> Capa más baja de la atmósfera que se extiende desde la superficie de la Tierra hasta más allá de las nubes que se pueden ver normalmente.

...El agua se necesita en todos los aspectos de la vida. El objetivo es garantizar que se mantenga un abastecimiento adecuado de agua de buena calidad para las poblaciones, al tiempo que se preservan las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas dentro de los límites de capacidad de la naturaleza<sup>3</sup>.

Desafortunadamente, la presión sobre el sistema hidrológico tiende a aumentar junto con el crecimiento de la población, el desarrollo económico y los cambios potenciales del clima. Entre los principales retos que hay que enfrentar a nivel mundial se encuentran: la progresiva escasez relativa del agua por el incremento en la demanda y por la contaminación, el lento avance hacia el abastecimiento de agua limpia y saneamiento y los daños causados por eventos hidrometeorológicos extremos como sequías, huracanes e inundaciones. La situación es paradójica ya que algunas de las acciones que se han desarrollado para superar estos y otros obstáculos, han creado nuevos problemas. Evidentemente se requiere un enfoque integral para enfrentar la complejidad de la problemática actual (UNESCO-OMS, 2003). En este capítulo se presentan los principales problemas hidrológicos del estado y se analiza la relación de esta problemática con otros componentes del medio físico, biótico y social, desde una perspectiva ecológica integradora. Finalmente, se presentan las acciones que se llevan a cabo para solucionar estos problemas y las conclusiones del capítulo.

Veracruz es un estado rico en recursos naturales y con abundante agua. De las 110 regiones hidrológicas prioritarias identificadas por la Conabio, algunas de ellas se encuentran en Veracruz, como: río La Antigua, río Tecolutla, humedales del Papaloapan, San Vicente y San Juan, Los Tuxtlas, y la cuenca alta y media del Coatzacoalcos. Estas cinco regiones se definen como

prioritarias debido a su alta biodiversidad y, con excepción de la Antigua, todas están amenazadas. En los casos de Los Tuxtlas, río Tecolutla y la cuenca alta y media de Coatzacoalcos también son consideradas como prioritarias debido a la presencia de actividades productivas. Las dos últimas regiones también destacan por el desconocimiento científico que existe sobre ellas.

En nuestro estado están representados una gran parte de los ecosistemas acuáticos de México, por lo que también se encuentra entre las entidades mexicanas con mayor diversidad de especies (Semarnat, 2002). En Veracruz se han encontrado 144 especies de peces que representan el 28 % de todas las especies de México, de las cuales 10 se han reportado como endémicas y, entre ellas, cinco especies se encuentran en la categoría de “amenazadas”, tres en “peligro de extinción” y dos “sujetas a protección especial” (Mercado-Silva *et al.*, 2010). Por otro lado, los ríos con mayor diversidad de peces son el Pánuco con 75 especies (30 % endémicas), el Coatzacoalcos con 53 especies (13 % endémicas) y el Papaloapan con 47 especies (21 % endémicas) (Aguilar, 2003). Hay otras regiones muy diversas como la región de Los Tuxtlas en cuyos lagos, ríos, arroyos y cascadas se reporta un total de 33 especies de peces (Vázquez *et al.*, 2004).

En cuanto a la cantidad de agua, aproximadamente escurren por el estado 121 000 millones de m<sup>3</sup> al año. No obstante, Veracruz tiene importantes rezagos en la cobertura del servicio de agua y en algunas regiones como la parte norte del estado y la zona centro, las sequías son cada vez más agudas. Por otro lado, hay que aclarar que la alta disponibilidad de agua no se traduce espontáneamente en beneficios inmediatos para la población. Por ejemplo, la disponibilidad de agua y los indicadores de desarrollo socioeconómico en la región hidrológica Golfo X Centro muestran un comportamiento aná-

<sup>3</sup> UN, 1992, p. 275.

logo al nacional, esto es, que en las zonas de mayor disponibilidad de agua se concentra el menor desarrollo económico (figura 1). También hay que mencionar que en algunos casos el exceso de agua se convierte en un problema, ya que las inundaciones suelen ser frecuentes y el 8 % del territorio se encuentra expuesto a ellas.

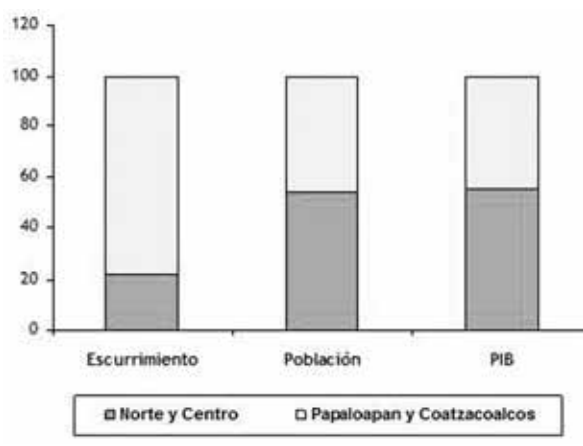


FIGURA 1. Porcentajes de escurrimiento, población y producto interno bruto en las regiones contenidas en la Gerencia X Golfo Centro. (Fuente: Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 (CNA, 2001) y Gerencia Regional Golfo Centro; Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025 de la Región X, Golfo Centro (CNA, 2001).

Sin duda, uno de los principales problemas en Veracruz es la calidad del agua. En las cinco regiones hidrológicas que se encuentran en el estado, las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales urbanas, industriales y agropecuarias (cuadro 1). El bajo saneamiento de las aguas residuales municipales se debe en parte a que se tienen 88 plantas de tratamiento en todo el estado, de las cuales únicamente el 28 % está en operación, por lo que la cobertura de saneamiento es sólo del 11.4 % (CSVA, 2005). Las descargas de origen municipal, junto con las del sector servicios, representan el 32 % del volumen descargado y el 24 % de la carga

contaminante. En general, las aguas residuales industriales representan una fuente de contaminación puntual de efectos muy severos. Entre las que más contribuyen en la entidad se encuentran los beneficios de café, beneficios azucareros, alcohólicas, papeleras, industrias petroquímica y química. Las industriales constituyen el 68 % del volumen descargado a ríos y cauces de forma puntual, además de que aportan el 76 % de la carga contaminante medida en términos de la carga orgánica (DBO<sup>5</sup>). Las descargas de los ingenios azucareros y de las instalaciones de Pemex representan el 50 % del volumen generado por el sector industrial, el 65 % de la carga orgánica y el 89 % de la demanda química de oxígeno (DQO) (CSVA, 2005).

Por otro lado, las descargas provenientes de la agricultura son una fuente difusa de contaminación del subsuelo, de las aguas freáticas y de las aguas superficiales. En Veracruz prevalece el sistema de riego de canales a cielo abierto, la mayoría de ellos sin revestir y también a nivel parcelario, donde el agua se deja correr en forma laminar sobre los terrenos de cultivo. Durante el proceso de riego, el agua excedente se infiltra, o el agua que corre superficialmente arrastra sustancias que se utilizan para la fertilización de la tierra (compuestos de nitrógeno y fósforo) y el control de plagas (CSVA, 2005). También existe contaminación del agua proveniente de algunas sustancias usadas para el manejo veterinario del ganado y que son excretadas en forma de compuestos metabólicamente activos, aunque se descarguen en proporciones aparentemente pequeñas. En el cuadro 1 se presentan las principales fuentes de contaminación de las diferentes descargas residuales sobre los sistemas acuáticos para cada región.

#### LA VISIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS NATURALES

La pérdida de recursos naturales, la escasez y el exceso de agua y la deficiente calidad de ésta son

CUADRO 1. Estado de contaminación de los principales ríos y cuencas de Veracruz. (Fuente: modificado de Calles y Gómez, 1997).

| REGIÓN            | ESTADO DE CONTAMINACIÓN  |
|-------------------|--|
| BAJO PÁNUCO       | Cuencas contaminadas por aguas residuales de importantes concentraciones urbanas e industriales.   |
| NORTE DE VERACRUZ | Las cuencas del Tuxpan, Cazonos y Tecolutla están contaminadas por descargas de aguas residuales de origen municipal e industrial (petróleo). La cuenca del río Nautla presenta contaminación urbana, industrial y agropecuaria (ingenios, destiladoras, embotelladoras, beneficios de café).  |
| CENTRO            | La cuenca del río Actopan se reporta contaminada principalmente por descargas municipales, en las cercanías de los grandes centros urbanos como Xalapa y Banderilla. Recibe también fertilizantes y biocidas usados en los cultivos de chayote, mango y caña de azúcar. La cuenca del río La Antigua presenta descargas de ingenios azucareros, beneficios de café y aguas municipales no tratadas de Xalapa, Coatepec y Teocelo. La cuenca del río Jamapa-Cotaxtla se encuentra contaminada principalmente por materia orgánica y bacteriológica, por contaminantes químicos no biodegradables y por campos petroleros. |
| PAPALOAPAN        | La cuenca del río Blanco presenta contaminación industrial, urbana y agrícola, principalmente por descargas de ingenios azucareros y beneficios de café. Uno de los principales contaminantes es materia orgánica. Algunas industrias utilizan sustancias tóxicas no biodegradables y bioacumulables. En la cuenca del Papaloapan, los ríos reciben desechos de la industria azucarera, papelera, cervecera, aguas negras municipales y escurrimientos de biocidas y fertilizantes.  |
| COATZACOALCOS     | En esta cuenca, la principal contaminación es industrial y en particular la industria petrolera. Se encuentra un alto número de complejos petroquímicos como Cosoleacaque, Pajaritos, Cangrejera, Morelos y la refinería Lázaro Cárdenas.  |

resultado y forman parte de interacciones funcionales complejas dentro de las cuencas. El agua y los elementos que circulan a través de las cuencas, ligan los diferentes componentes del sistema (vegetación, suelo y agua), por lo que un cambio en la concentración de nutrimentos y flujos de energía puede manifestarse en el desequilibrio de los procesos ecológicos que ocurren en los diferentes sistemas. El estado de salud e integridad ecológica de los sistemas acuáticos pueden verse afectados por el uso de suelo de su cuenca de drenaje y, en consecuencia, por el estado de conservación de la vegetación. Al ser la cuenca la unidad geográfica en la que ocurren la mayor parte de las fases del ciclo hidrológico de interés humano, es necesario entender dentro de ella los procesos que operan en los ecosistemas que la conforman. Dicho entendimiento propicia una visión integral de dónde incorporar los componentes del medio social, físico y natural que interactúan a distintas escalas temporales y espaciales. Sólo a tra-

vés de la comprensión de estas interacciones, articuladas alrededor de la búsqueda del bienestar humano, es que será posible propiciar el uso sustentable de los recursos naturales (figura 2).

Dentro de estas interacciones, la relación entre las funciones de los ecosistemas y el componente biológico es clave. El desarrollo teórico dentro de la ecología y los estudios (tanto observacionales como experimentales) apoyan la idea que sostiene que los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas, así como las propiedades de los cuales se derivan éstos dependen de manera fundamental de la biodiversidad (Hooper *et al.*, 2005, véase el estudio de caso 1) A continuación se resaltan algunas de las principales interacciones, así como su repercusión en el bienestar de los habitantes del estado.

El color verde resalta procesos biológicos, el azul procesos físicos, el rojo procesos causados por actividades humanas y el negro procesos de realimentación hacia el bienestar humano en la región. El

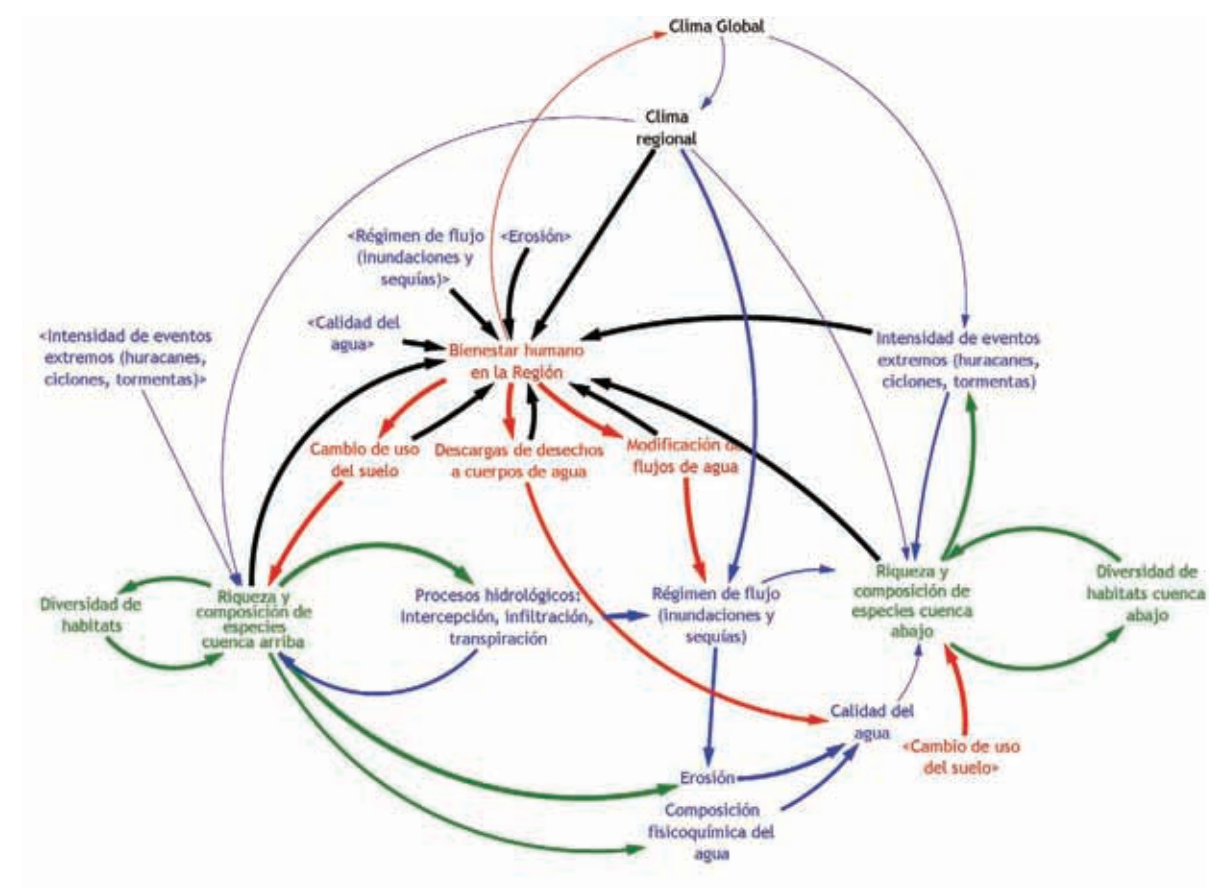


FIGURA 2. Interrelación entre algunas funciones hidrológicas, biodiversidad y bienestar humano.

grosor de las flechas indica escalas temporales (entre más anchas, menor tiempo en causar un cambio). Para facilitar la legibilidad de la figura fue necesario repetir los nombres de algunas variables, en estos casos el nombre está entre los signos < y >. Como se indica, la relación del ser humano con los ecosistemas tiene un efecto significativo. La búsqueda de bienestar nos ha llevado a transformar el entorno a través de distintos procesos como son: el cambio del uso del suelo hacia actividades productivas como la agricultura, la ganadería o actividades industriales; la modificación y la contaminación de cuerpos de agua y la emisión de contaminantes a la atmósfera, entre otros. Los beneficios que han traído consigo estos cambios han sido a costa de alteraciones en la

riqueza y la composición específica de distintos ecosistemas y el funcionamiento hidrológico. Paradójicamente, el bienestar humano muchas veces se ha empobrecido con estas acciones debido a la existencia de procesos de realimentación que operan sobre algunas de las interacciones del sistema.

### Relación entre el uso del suelo y los procesos hidrológicos

En la parte alta de las cuencas, las coberturas forestales estabilizan el flujo subsuperficial. Este aspecto destaca sobre todo en áreas tropicales y subtropicales como es el caso de Veracruz, donde las precipita-

ciones en época de lluvias son abundantes y de fuerte intensidad. La estructura de los suelos forestales, en combinación con la ausencia de un uso intensivo, condiciona altas capacidades de infiltración. En este sentido, aun durante precipitaciones de alta intensidad, gran parte del agua infiltra al suelo y la escorrentía superficial tiende a ser relativamente pequeña (figura 2). Por lo tanto, la deforestación o el reemplazo de bosques y selvas por otros usos de suelo, puede modificar significativamente las tasas de intercepción, transpiración e infiltración de agua (Viles, 1990 y Le Maitre *et al.*, 1999, citados en Eviner y Chapin III, 2003). Lo anterior, a su vez, afecta el régimen de los flujos de los arroyos a lo largo del año y por lo tanto los patrones de inundación y las crecidas de ríos.

En Veracruz, las tasas de pérdida de bosques y selvas son alarmantes (2.7 % anual, equivalente a 5 000 ha), que lo ubican en el segundo lugar en deforestación en el país (Challenger, com. pers.). Desde el punto de vista hidrológico, la conversión de bosques a pastizales o cultivos conduce a cambios en los patrones de flujos estacionales de los ríos y aumento en los picos de descarga durante eventos de precipitación (Aylward, 2004), propiciando muy probablemente inundaciones en las partes bajas.

Las coberturas vegetales también brindan una adecuada protección al suelo y favorecen una alta calidad del agua (regulando sedimentos, turbidez, temperatura y oxígeno disuelto). Por ejemplo, en la parte alta de la cuenca del río La Antigua se encontró que el tipo de vegetación tiene un efecto notorio en la calidad del agua. Los ríos de bosque presentan un estado oligotrófico<sup>4</sup> y en el extremo del gradiente, los ríos del cafetal un estado eutrófico. Los cafetales tienen una alta concentración de sólidos suspendidos totales (SST), lo que sugiere un gran arrastre de sedimentos al río en época de lluvias por

el alto porcentaje de suelo desnudo (Martínez *et al.*, 2009; Vázquez *et al.*, en rev). En los pastizales los SST son bajos (poco suelo desnudo), pero presentan alta concentración de sílice atribuido a la descomposición de las paredes celulares de las gramíneas (Vázquez *et al.*, en rev). Las características fisicoquímicas del agua influyen significativamente en la determinación de la composición de especies, tanto acuáticas como terrestres, en la parte baja de la cuenca, presentándose así una relación compleja entre los distintos elementos que interactúan dentro de ésta (figura 2).

En el caso de las comunidades acuáticas, y dado que las especies que las conforman han evolucionado como respuesta a los regímenes naturales de flujo, es posible que los cambios provocados por el hombre puedan alterar su composición en las zonas bajas. Dentro de los factores que mayor efecto pueden tener, en este sentido, están la construcción de presas, el azolve de ríos y lagos provocado por la erosión y el uso de agua dentro del ámbito agrícola, industrial y urbano (Mercado-Silva *et al.*, 2010). Además de la pérdida potencial de especies en esta zona, es posible que la invasión y el éxito de especies introducidas y exóticas en ríos también se faciliten con los cambios hidrológicos (figura 2). A pesar de que la investigación sobre estos temas es necesaria, hasta donde se sabe, existe poca información al respecto sobre el estado.

### Riesgos naturales

Dada la naturaleza costera de Veracruz, hay que considerar especialmente los procesos hidrológicos que ocurren en el contacto con el Golfo de México. Estos procesos dan origen a un extenso y complejo mosaico de humedales de muy variados tipos y rele-

<sup>4</sup> En Limnología se describe con términos como éste la productividad del ambiente acuático. Oligotrófico se refiere a aguas con pocos nutrientes y fondos oxigenados. Eutrófico describe un exceso de nutrientes, los fondos pueden presentar déficit de oxígeno.

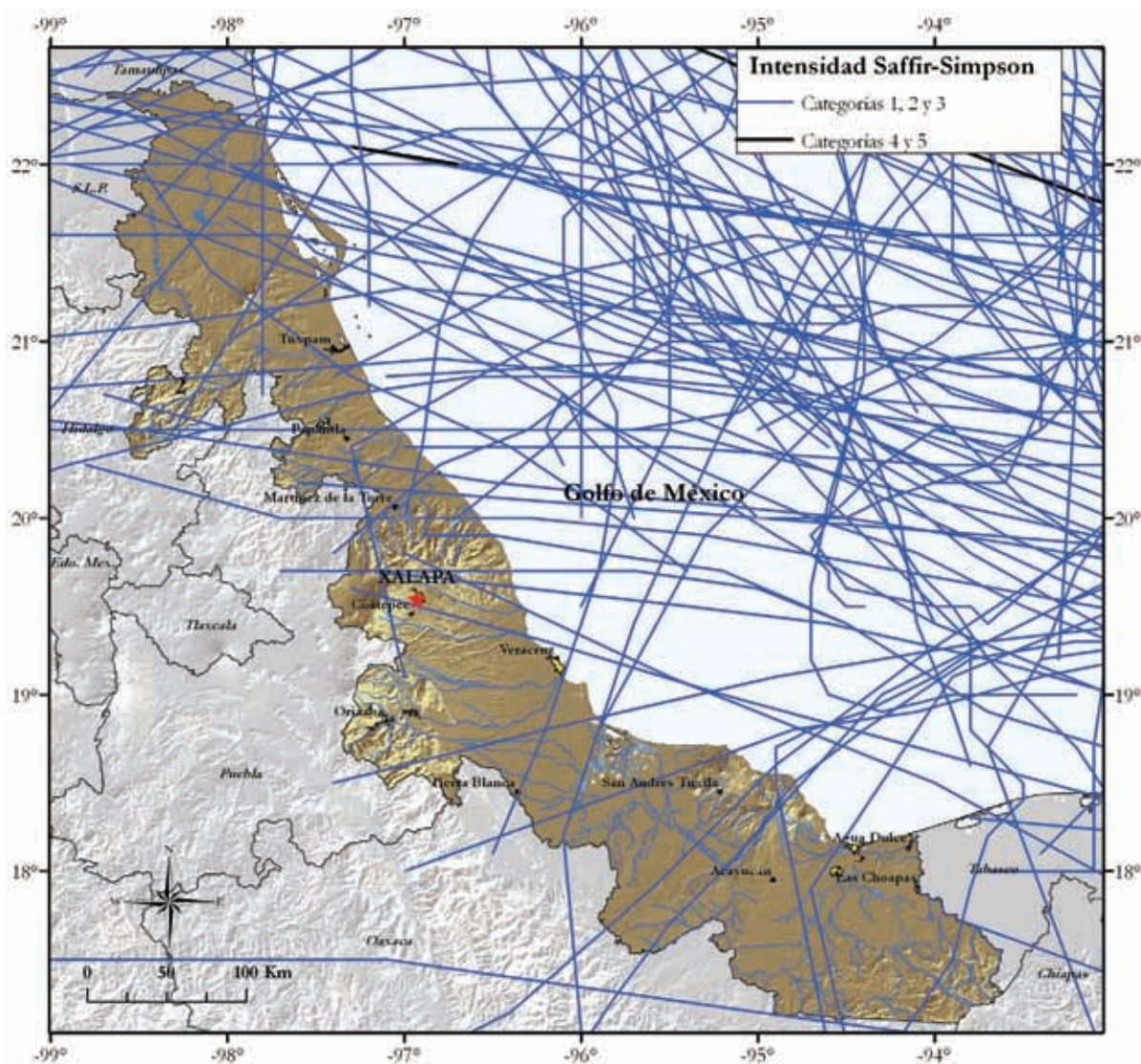


FIGURA 3. Trayectorias de huracanes en el Golfo de México en el periodo 1855-2005. Categorías 1 y 2 y 3 (en azul), categorías 4 y 5 (en negro) de acuerdo con la escala de Saffir-Simpson. (Fuente: The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center (<http://maps.csc.noaa.gov/hurricanes/download.html>). (Fuente: CNA. 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Comisión Nacional del Agua (CNA), México).

vancia para la biodiversidad de la región y para la vida humana. La composición de especies de estos humedales favorece la provisión de hábitat para otros organismos, el reciclaje de nutrientes y la protección contra el oleaje, los nortes, las tormentas tropicales y los huracanes (Danielsen *et al.*, 2005;

UNEP-WCMC, 2006; Pérez-Maqueo *et al.*, 2007). La función de los ecosistemas naturales como barreras que protegen hasta cierto punto zonas habitadas, es trascendente bajo el escenario actual de cambio climático. En el caso de Veracruz, el aumento en la frecuencia de huracanes de categoría mayor, debido

al incremento de las temperaturas del agua (Webster *et al.*, 2005), es relevante (figura 3). De hecho, su influencia y las inundaciones asociadas a ellos, comienzan a ser un problema preocupante en el estado. El número de ciclones tropicales (30) que se presentó en el Océano Atlántico durante el 2005 fue superior al detectado en cualquier otro año del registro histórico, que existe para el periodo 1855-2005 (Acevedo y Luna, 2006). Durante ese año, las tormentas Bret, José y el huracán Stan, provocaron lluvias intensas, deslaves, escurrimientos y desbordamientos de cuerpos de agua en todo el estado. Por ejemplo, la depresión Bret con una velocidad de vientos de 56 km/hr, produjo fuertes inundaciones por lluvia ocasionando la muerte de una persona y daños materiales. La tormenta tropical José alcanzó los 65 km/hr provocando inundaciones y deslaves que causaron la muerte de una persona y obligaron a que miles fueran evacuadas de sus casas. Finalmente, el huracán Stan de categoría 5 con velocidades superiores a los 130 km/hr ocasionó la muerte de 80 personas e inundaciones desastrosas en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas. Particularmente, en la parte baja de la Cuenca de La Antigua, el impacto de Stan fue muy severo.

## Clima

En cuanto al clima, hoy en día se reconoce que la deforestación tropical en grandes extensiones puede cambiar el clima regional significativamente (Kanae *et al.*, 2001; Pielke *et al.*, 2002). Se ha comprobado que los bosques tropicales inciden en las condiciones climáticas mediante distintos mecanismos, como son: el mantenimiento de una humedad elevada del suelo y del aire cerca de su superficie, la reducción de la penetración de la luz al suelo y la velocidad del viento en la superficie (Pielke *et al.*, 2002). Modelos generales de circulación (MGC) sugieren que la deforestación tropical puede reducir la precipitación y aumentar la longitud de la época

de secas (Shukla *et al.*, 1990; Lawton *et al.*, 2001; Pielke *et al.*, 2002). Los cambios en el clima pueden propagarse incluso a nivel global. Simulaciones obtenidas a partir de MGC sugieren que cambios en el paisaje regional pueden alterar flujos de la superficie de la tierra en cualquier parte del mundo a través de realimentaciones no lineales dentro de la circulación atmosférica global (Chase *et al.*, 2000).

## Cambio Climático Global

Hoy en día se acepta que el Cambio Climático Global está ocurriendo por factores antrópicos. Los modelos actuales predicen, que ante distintos escenarios de desarrollo económico, es posible que para el año 2020 los ecosistemas de Veracruz estén expuestos a una variación de la precipitación anual de  $\pm 5\%$  y a un aumento en la temperatura anual entre 0.8 y 1.4 °C. Para el año 2080 la precipitación podría variar entre +10 y -20 % y la temperatura media anual incrementarse 3 °C.<sup>5</sup>

Adicionalmente, hay que considerar que el otro efecto del calentamiento global es la elevación del nivel medio del mar. Por ejemplo, el sistema lagunar de Alvarado y del río Papaloapan cubren un área de 1 183 km<sup>2</sup> con una zona de inundación de alrededor de 1 448 km<sup>2</sup>. El cálculo del área de inundación entre el nivel de los 0 a 1 m de altura sobre el nivel del mar indica que se encuentra un 84 % ocupada por la zona intermareal. Este nivel de inundación abarca hasta 47.5 km tierra adentro sobre las tierras bajas. Para el intervalo de 1 a 2 m de elevación, el área afectada podría ser de 168 km<sup>2</sup> lo cual corresponde al 16 % de la superficie total del sistema lagunar de Alvarado (Ortiz Pérez y Méndez Linares, 1999). Debido al aumento en el nivel del mar, es muy probable que desaparezcan comunidades ligadas a áreas inundables, entre las que se encuentran los manglares ubicados en casi toda la costa,<sup>6</sup> así como el popal en llanuras aluviales al sur del estado. Hay que anotar que la mayo-

ría de los estudios de cambio climático se han enfocado a las fluctuaciones en las condiciones promedio, pero este fenómeno traerá sobre todo cambios en la variabilidad climatológica, así como en los eventos extremos, los que repercutirán, sobre todo en el sur de México, en las condiciones de vida de las personas y la permanencia o establecimiento de especies.

#### RESPUESTA ESTATAL A LOS PROBLEMAS HIDROLÓGICOS

Como se ha señalado, a pesar de la alta oferta de agua y la considerable biodiversidad, el estado de Veracruz no está exento de problemas ambientales. En respuesta, se han instrumentado políticas dirigidas a satisfacer las necesidades hídricas de la población, orientadas también a la protección de otros recursos naturales. El estado de Veracruz se ha destacado por explorar instrumentos normativos e institucionales que propicien la adecuación del marco jurídico nacional y fomenten la eficacia de los mecanismos jurídicos existentes (CSVA, 2005). A partir de la Ley Número 21 de Aguas del estado de Veracruz se creó el Sistema Veracruzano del Agua (SVA), integrado por el Ejecutivo del estado, los ayuntamientos y los sectores social y privado. El SVA se encarga del tratamiento adecuado de las aguas de jurisdicción estatal, así como de la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y saneamiento. Para garantizar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el SVA, existe una autoridad normativa y otra operativa representadas por el Consejo del Sistema Veracruzano del Agua y por la

Comisión del Agua del estado de Veracruz, respectivamente (CSVA, 2005).

#### Programa Hidráulico Estatal (PHE)

El Consejo del Sistema Veracruzano del Agua presentó, en el 2005, el Programa Hidráulico Estatal (PHE). En este programa el gobierno del estado realizó un diagnóstico sobre la problemática relacionada con el agua en las cinco regiones que conforman la entidad. Los principales problemas detectados fueron: 1) la baja cobertura de agua potable y saneamiento, 2) la contaminación del agua; 3) los daños producidos por fenómenos hidrometeorológicos extremos (como inundaciones, deslaves y sequías); 4) la baja eficiencia del uso del agua en la agricultura y la insuficiencia en la medición, y 5) la poca divulgación de la información. El PHE contiene además una prospectiva para los próximos 20 años, así como los lineamientos con los cuales se buscan nuevos esquemas y fuentes de financiamiento que permitan construir las obras necesarias e influir en una mayor participación de la sociedad. Como resultado del análisis el PHE estableció las acciones que deben realizar las instituciones de los diferentes niveles de gobierno en cada región.<sup>7</sup>

Dentro de las acciones a realizar, el gobierno del estado reconoce el vínculo existente entre los problemas del agua con otros componentes del ecosistema. Además de proponer ubicar las nuevas áreas protegidas y parques ecológicos en función de aspectos hidrológicos, se promueve la adopción de Programas de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos y se busca así proteger las fuentes de abastecimiento de las localidades.

<sup>5</sup> ([http://www.ine.gob.mx/climatico/edo\\_sector/estados/estados.html](http://www.ine.gob.mx/climatico/edo_sector/estados/estados.html)).

<sup>6</sup> ([http://www.ine.gob.mx/climatico/edo\\_sector/estados/amenaza\\_veracruz.html](http://www.ine.gob.mx/climatico/edo_sector/estados/amenaza_veracruz.html)).

<sup>7</sup> (<http://www.csva.gob.mx/pagindex.php?pag=300>).

CUADRO 2. Sitios Ramsar dentro del estado de Veracruz. (Fuente: Ramsar, 2008).

| NÚMERO RAMSAR | SITIO   | FECHA DE DESIGNACIÓN | ÁREA (ha) | COORDENADAS      |
|---------------|---|----------------------|-----------|------------------|
| 1336          | La Mancha y El Llano                                      | 02/02/2004           | 1 414     | 19°36'N 096°23'W |
| 1342          | Manglares y humedales de la Laguna de Sontecomapan        | 02/02/2004           | 8 921     | 18°32'N 095°02'W |
| 1346          | Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano             | 02/02/2004           | 52 238    | 19°08'N 096°00'W |
| 1355          | Sistema Lagunar Alvarado                                  | 02/02/2004           | 267 010   | 18°39'N 095°51'W |
| 1450          | Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz | 02/02/2005           | 141       | 19°10'N 096°10'W |
| 1462          | Humedales de la Laguna La Popotera                        | 05/06/2005           | 1 975     | 18°40'N 095°31'W |
| 1596          | Laguna de Tamiahua  | 27/11/2005           | 88 000    | 20°58'N 097°19'W |
| 1601          | Cascadas de Texolo y su entorno                           | 02/02/2006           | 500       | 19°24'N 097°00'W |
| 1602          | Manglares y humedales de Tuxpan                           | 02/02/2006           | 6 870     | 21°00'N 097°21'W |

FUENTES: Calles, A. y A. Gómez. 1997. *Información Hidrológica del Estado de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Desarrollo Urbano. Dirección General de Asuntos Ecológicos, 26 p.

Ramsar 2008. The List of Wetlands of International Importance. Convención de Ramsar sobre los Humedales. <http://www.ramsar.org/indexsp.htm>.

Por otro lado, el reconocimiento de la pérdida de ecosistemas, como una de las amenazas más importantes en la ruta hacia la sustentabilidad, ha producido acciones determinantes en la entidad. Una de ellas es la promoción de la protección de humedales a través de su registro en la Convención Ramsar de humedales de relevancia internacional y que ya suman nueve (cuadro 2).

### Iniciativa por el Agua, los Bosques y las Cuencas (Iniciativa ABC)

Otro esfuerzo que puede tener resultados favorables para el estado es la Iniciativa por el Agua, los Bosques y las Cuencas (Iniciativa ABC) la que, mediante un fideicomiso, busca establecer un instrumento jurídico-financiero enfocado a la protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales. Entre sus políticas, la Iniciativa ABC instaurará aquellas que conciben la regulación del uso del

suelo con criterios ecológicos y promoverá actividades productivas favorables con el ambiente, así como el pago por servicios ambientales.<sup>8</sup>

Como parte de la propuesta, la Iniciativa ABC plantea a las microcuencas como unidades básicas para la protección, la preservación y el enriquecimiento de los ecosistemas que aseguran la biodiversidad y la disponibilidad de agua. Sin duda estos mecanismos suponen la modernización de los enfoques de administración pública en relación con los recursos hidrológicos de la entidad.

### CONCLUSIONES

A pesar de la importante destrucción de hábitats, Veracruz sigue considerándose como la entidad con la tercera posición por riqueza biológica en el país, sin embargo, la amenaza de extinción o al menos de extirpación estatal de muchas especies crece en forma alarmante si se considera la pérdida de super-

<sup>8</sup>([http://www.huilopandecuahutemoc.gob.mx/secciones.html?seccion=boletines@noticias\\_ver&idnoticia=3343](http://www.huilopandecuahutemoc.gob.mx/secciones.html?seccion=boletines@noticias_ver&idnoticia=3343)).

ficie de los ecosistemas originales. Es particularmente preocupante la amenaza que enfrentan los humedales de la entidad, aunque en los últimos años se ha empezado a revalorarlos, lo que consta por el aumento en el registro de sitios veracruzanos en la Convención de Ramsar. Los costos ambientales por el deterioro de los recursos hidrológicos son actualmente evidentes: altos niveles de contaminación, escasez de agua (con la creciente conflictividad social asociada), creciente vulnerabilidad a peligros naturales como inundaciones, sequías, deslaves y otros.

Afortunadamente la revaloración de los múltiples beneficios que los ecosistemas naturales ofrecen a la sociedad está ganando terreno en Veracruz. Particularmente la adopción de esquemas que buscan reconocer el valor de los ecosistemas mediante la “internalización” en la economía, por su papel en la generación de servicios ambientales hidrológicos (entre otros servicios que proporcionan) es una naciente realidad.

Mejorar el conocimiento de los procesos ecosistémicos es esencial para gestionar y salvaguardar los recursos hidrológicos y naturales del estado. Este conocimiento será también importante para desarrollar modelos destinados a comprender fenómenos complejos como, por ejemplo, los relacionados con el cambio climático. Los modelos que se generen serán herramientas preventivas para mitigar las posibles consecuencias de modificaciones ambientales de gran magnitud que pueden interferir con los procesos productivos actuales.

AGRADECIMIENTOS. Parte de la información de este capítulo se obtuvo del proyecto apoyado por Conacyt 43082.

## LITERATURA CITADA

- ACEVEDO, F. y A. Luna, 2006, Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado de Veracruz en el Año 2005, en A. y. W. C. Tejeda, (ed.), *Inundación 2005 en el Estado de Veracruz*, Universidad Veracruzana, 53-67 pp.
- CSVA, 2005, Programa Hidráulico Estatal, Consejo Estatal Veracruzano del Agua, <http://www.csva.gob.mx/pagindex.php?pag=300>.
- CHASE, T. N., S. R. A. Pielke, T. G. F. Kittel, R. R. Nemani, y S. W. Running, 2000, Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter, *Climate Dynamics* 16 (2): 93-105.
- DANIELSEN, F., M. K. Sorensen, M. F. Olwig, V. Selvam, F. Parish, N. D. Burgess, T. Hiraishi, V. M. Karunagaran, M. S. Rasmussen, L. B. Hansen, A. Quarto, y N. Suryadiputra, 2005, The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation, *Science* 310: 643.
- EVINER, V. T. y F. S. Chapin III, 2003, FUNCTIONAL MATRIX: A Conceptual Framework for Predicting Multiple Plant Effects on Ecosystem Processes, *Annual Reviews in Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 455-485.
- GLEICK, P. H., 1996, Water resources, en S. H. Schneider, *Encyclopedia of Climate and Weather*, Oxford University Press, Nueva York.
- HOOPER, D. U., F. S. Chapin, J. J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J. H. Lawton, D. M. Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, H. Setälä, A. J. Symstad, J. Vandermeer, y D. A. Wardle, 2005, Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge, *Ecological Monographs* 75 (1): 3-35.
- KANAE, S., T. Oki, y K. Musiak, 2001, Impact of deforestation on regional precipitation over the Indochina Peninsula, *Journal of Hydrometeorology* 2 (1): 51-70.
- LAWTON, R. O., U. S. Nair, R. A. Pielke Sr, y R. M. Welch, 2001, Climatic Impact of Tropical Lowland

- Deforestation on Nearby Montane Cloud Forests, *Science* 294 (5542): 584.
- MARTÍNEZ M.L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehltreter, M. Equihua, R. Landgrave, Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management* 258: 1856-1863
- MERCADO-SILVA, N., E. Díaz, A. Gutiérrez, y S. Eduardo, 2010, Los peces dulceacuícolas de Veracruz, *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado*, Conabio, México.
- ORTIZ PÉREZ, M. A. y A. P. Méndez Linares, 1999, Escenarios de vulnerabilidad por ascenso del nivel del mar en la costa mexicana del Golfo de México y el Mar Caribe, Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM, México, *Boletín* 39: 68-81.
- PÉREZ-MAQUEO, O., A. Intralawan, y M. L. Martínez, 2007, Coastal disasters from the perspective of ecological economics, *Ecological Economics* 63 (2-3): 273-284.
- PIELKE, R. A., G. Marland, R. A. Betts, T. N. Chase, J. L. Eastman, J. O. Niles, D. D. S. Niyogi, y S. W. Running, 2002, The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series a-Mathematical Physical and Engineering, Sciences* 360 (1797): 1705-1719.
- SEMARNAT, 2002, *Biodiversidad. Informe de la situación del medio ambiente en México*, Semarnat, México.
- SHUKLA, J., C. Nobre, y P. Sellers, 1990, Amazon deforestation and climate change, *Science* 247 (4948): 1322-1325.
- UN, 1992, Agenda 21, Programa de Acción para el Desarrollo Sostenible, Conclusiones oficiales de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medioambiente y Desarrollo (UNCED), Río de Janeiro.
- UNEP-WCMC, 2006, *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*, Cambridge, UK.
- UNESCO-OMS, 2003, Parte II: Una mirada a los recursos mundiales de agua dulce, en UNESCO y WWAP (eds.), *Water for people, water for life*, pp. 67-95.
- VÁZQUEZ, G., E. Díaz-Pardo, A. Gutiérrez-Hernández, I. Doadrio, y A. de Sostoa, 2004, Los ríos y los lagos, en S. Guevara, Laborde J, y S.-R. G., (eds.), *Los Tuxtlas*, 201-230 pp. Unión Europea/INECOL.
- WEBSTER, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry, y H. R. Chang, 2005, Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, *Science* 309 (5742): 1844-1846.

## ESTUDIO DE CASO 1

## LA BIODIVERSIDAD ES CLAVE EN LAS FUNCIONES DE LOS ECOSISTEMAS

Octavio Pérez-Maqueo

La composición de especies vegetales y animales es parte medular en el funcionamiento hidrológico de las cuencas. Las especies vegetales con dosel alto y con una extensión de área foliar considerable, pueden interceptar agua de lluvia, y permitir el depósito de agua por neblina, como una fuente adicional de agua, en ambientes tanto costeros como montañosos (Weathers, 1999). En algunos casos, se ha reportado que el 34 % del agua que entra al sistema ha sido a través de la neblina (Dawson, 1998). Por su parte, especies con raíces largas toman el agua de las capas profundas del suelo y pasivamente las liberan por evapotranspiración a la superficie (Viles, 1990 y Le Maitre *et al.*, 1999, citados en Eviner y Chapin III, 2003). Asimismo, los invertebrados del suelo contribuyen de manera importante en la infiltración y el almacenamiento del agua (Lavelle *et al.*, 2006).

La composición de especies también es un factor importante en el grado de erosión causada por los escurrimientos de agua. La erosión tiende a disminuir si existen especies con mayor cobertura o con alta densidad y longitud de raíces finas que ayuden en la cohesión del suelo (Waldron y Dakessian, 1981, citado en Eviner y Chapin III, 2003). En general, la erosión tiende a ser menor en bosques que en pastizales, ya que el dosel y la capa de mantillo de las especies arbóreas además de interceptar eficientemente la lluvia, disminuyen el efecto del viento y por lo tanto el transporte de partículas. En contraste, los pastizales pueden ser funcionalmente importantes en sistemas áridos. Se ha visto que en estos sistemas cambiar el uso del suelo de pastizal a matorral puede incrementar la erosión debido a los espacios vacíos que quedan entre los arbustos (Schlesinger *et al.*, 1990, citado en Eviner y Chapin III, 2003).

En la parte baja de la cuenca, los arrecifes coralinos y los manglares pueden absorber entre el 70 y el 90 por ciento de la energía de las olas generadas por el viento, dependiendo de las condiciones físicas y del estado de salud de estos ecosistemas (UNEP-WCMC, 2006).

DAWSON, T. E. 1998. Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia* V117 (4): 476-485.

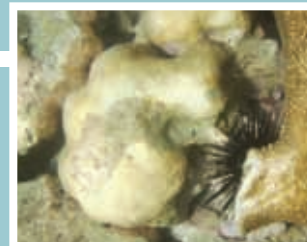
EVINER, V. T. y F. S. Chapin III, 2003, FUNCTIONAL MATRIX: A Conceptual Framework for Predicting Multiple Plant Effects on Ecosystem Processes, *Annual Reviews in Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (1): 455-485.

UNEP-WCMC, 2006, *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*, Cambridge, UK.

WEATHERS, K. C. 1999. The importance of cloud and fog in the maintenance of ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 14 (6): 214-215.



# Amenazas al ambiente marino veracruzano



Carlos González-Gándara

## INTRODUCCIÓN

La zona marina de Veracruz, al igual que otras de México, está sujeta a un conjunto de factores naturales y antropogénicos que influyen negativamente sobre el agua, el sustrato y sus ecosistemas. Las múltiples actividades del hombre tanto en la zona terrestre como en la marina han convertido a esta región en una de las más amenazadas en el Golfo de México. El asentamiento y desarrollo de las industrias de petróleo, generación de energía eléctrica, pesca y turismo que se desenvuelven en la zona costera veracruzana la agricultura y ganadería que ocurren en gran parte del territorio, además de los asentamientos urbanos, generan residuos que son vertidos directamente a los ambientes marinos o bien son acarreados por los ríos que desembocan en la costa. Destacan los residuos agrícolas y ganaderos (plaguicidas, fertilizantes), industriales (metales pesados, hidrocarburos) y urbanos (aguas negras), mismos que en la mayoría de los casos no son tratados ni evaluados, convirtiéndose en riesgos poten-

ciales para la diversidad biológica de Veracruz. Por otra parte, los fenómenos naturales (*e.g.* ciclones o huracanes, nortes, trombas, lluvias fuertes, entre otros) que ocurren en las costas veracruzanas, producen cambios en las características de los ecosistemas marinos y sus componentes. Por tanto, en el presente capítulo se citan los principales problemas ambientales de la zona marina de Veracruz, sus fuentes de origen y se sugieren algunas alternativas de solución.

## DESCARGA DE AGUAS NEGRAS

La descarga de aguas negras en el ambiente marino veracruzano contribuye al crecimiento poblacional de los microorganismos, alterando las condiciones de equilibrio de los ecosistemas (Wong-Chang y Barrera-Escorcia, 2005), de tal manera que evaluaciones recientes indican que la calidad de agua del ambiente marino, desde el punto de vista microbiológico, es inadecuada debido al alto índice de coli-

formas (bacterias que se ubican en el tracto digestivo del hombre) (Barrera-Escorcia *et al.*, 1999). Los datos reportados por Wong-Chang y Barrera-Escorcia (2005) refieren la presencia de bacterias patógenas (*Salmonella* sp., *Shigella* sp, *Vibrio cholerae*) en las lagunas de Tamiahua, Alvarado y del Ostión, en los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, y en la zona costera del Puerto de Veracruz. Las investigaciones realizadas en agua y sedimentos, indican altos niveles de contaminación (cuadro 1). Los organismos vivos, especialmente los filtradores (ostión, jaiba) acumulan bacterias en su cuerpo, convirtiéndose en un peligro para el equilibrio ecológico y la salud humana. Wong-Chang y Barrera-Escorcia (2005) citan que en los ostiones de las lagunas de Veracruz se han detectado entre 2 300 y 540 000 NMP/100g de coliformes totales. Los organismos más contaminados se han registrado en Tamiahua y Pueblo Viejo. Las aguas del Golfo de México tienen una acentuada contaminación bacteriológica, pero los estudios sobre el tema son escasos (Barrera-Escorcia y Wong-Chang, 2005).

CUADRO 1. Concentración bacteriológica en agua y sedimentos (NMP/100ml en agua y NMP/100g en sedimento) de sistemas costeros de Veracruz

|                            | AGUA        | SEDIMENTOS |
|----------------------------|-------------|------------|
| Coliformes totales (miles) | 0.008 - 240 | 19 - 1000  |
| Coliformes fecales (miles) | 0.40 - 240  | 1.5 - 1000 |

## LOS METALES PESADOS

Los metales pesados son aportados a la zona marina por los sistemas fluviales, la atmósfera y las actividades humanas, convirtiéndose en tóxicos cuando aumentan sus concentraciones en el medio. Resultan particularmente de las actividades industriales (papeleras) y se han ido acumulando en los ecosistemas marinos. En lagunas costeras es donde se han detectado los valores más altos, tanto en sedimentos

como en los componentes del bentos (cuadros 2 y 3). Las concentraciones de estos elementos y los efectos en los seres vivos varían de acuerdo a la especie y a las condiciones ambientales. Los estudios de Sobrino-Figueroa *et al.* (2005) realizados en lagunas costeras del norte de Veracruz indican modificaciones genéticas en ostión debido a las concentraciones de plomo, cromo y una mezcla de cadmio, cromo, clomo y HPA (hidrocarburos aromáticos policíclicos). En el cuadro 2 se resume la información existente para los ecosistemas marinos de Veracruz.

CUADRO 2. Concentración promedio de metales totales en sedimento ( $\mu\text{g/g}$ ). En negritas se indican los valores que producen efectos biológicos. Tomado de Guzmán Amaya *et al.* (2005)

| METAL  | TAMIAHUA             | MANDINGA            | ALVARADO            |
|--------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Cadmio | <b>6.21 ± 1.86</b>   | 0.89 ± 0.46         |                     |
| Cobre  | 10.52 ± 11.48        | 15.77 ± 6.88        | 17.49 ± 4.09        |
| Cromo  | 26.40 ± 49.04        | 14.75 ± 9.76        | 13.75 ± 9.04        |
| Níquel | <b>59.18 ± 20.37</b> | <b>72.26 ± 4.09</b> | <b>71.80 ± 7.19</b> |
| Plomo  | 17.35 ± 15.85        | 29.56 ± 5.40        | 27.49 ± 13.65       |
| Zinc   | 39.98 ± 24.66        | 56.14 ± 19.54       | 55.81 ± 20.70       |

CUADRO 3. Concentración promedio de metales totales en ostión ( $\mu\text{g/g}$ ). En negritas se citan los que rebasan los límites permisibles. Tomado de Guzmán Amaya *et al.* (2005)

| METAL  | TAMIAHUA             | MANDINGA              | ALVARADO              |
|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cadmio | 7.32 ± 2.85          | 2.94 ± 0.97           | 4.61-4.71             |
| Cobre  | <b>202.43 ± 61.6</b> | <b>165.75 ± 133.7</b> | <b>278.00 ± 264.3</b> |
| Cromo  | <b>33.64 ± 8.80</b>  | <b>21.06 ± 2.69</b>   | 10.60 ± 3.93          |
| Níquel | 7.62 ± 2.43          | 3.64 ± 0.93           | 4.22 ± 3.91           |
| Plomo  | <b>21.42 ± 6.05</b>  | <b>13.17 ± 1.92</b>   | <b>9.05 ± 6.84</b>    |
| Zinc   | 156.85 ± 70.15       | 159.81 ± 33.2         | 145.82 ± 62.9         |

## BIOCIDAS

El uso indiscriminado de compuestos químicos para aumentar la producción agropecuaria y eliminar las plagas domésticas, tanto en Veracruz como en los estados colindantes, ha generado una acumu-

lación de los mismos en los ecosistemas costeros veracruzanos. La naturaleza y magnitud del impacto de los plaguicidas sobre los ecosistemas está determinado por: 1) las propiedades del compuesto y del ambiente; 2) los aspectos tróficos y la naturaleza del hábitat, y 3) la edad del organismo. Los plaguicidas disueltos y particulados en las aguas pueden ser arrastrados a grandes distancias por las corrientes y mareas, también, al acumularse en los tejidos de los seres vivos, pueden ser transportados a otras regiones (Albert y Benítez, 2005).

La respuesta de los organismos a los plaguicidas se da en cuatro niveles: 1) bioquímico y celular; 2) sistémico; 3) poblacional y 4) comunitario, lo que puede generar cambios fisiológicos y genéticos en las propiedades poblacionales y en la diversidad biológica (McDowell *et al.*, 1988). Los niveles de toxicidad y persistencia de los plaguicidas en los seres vivos es variable (cuadro 4).

CUADRO 4. Toxicidad ( $CL_{50}$ ) y persistencia de algunos plaguicidas.  $CL_{50}$ =Concentración a la que muere el 50 % de la población de un organismo expuesto a un contaminante experimentalmente. VM=Vida media. Los datos corresponden al pez *Oncorhynchus mykiss*. Tomado de Albert y Benítez (2005).

| PLAGUICIDA       | $CL_{50}$ (mg/l) | VM (semanas) |
|------------------|------------------|--------------|
| DDT              | 0.004            | 489          |
| Lindano          | 0.86             | 84           |
| Paratión etílico | 1.350            | 12           |
| Malatión         | 0.080            | 1-2          |
| Clorpirifós      | 0.051            | 1            |
| Carbarilo        | 1.900            | 1            |
| 2,4-D            | 110.000          | 1-25         |
| Permetrina       | 0.005            | 4            |
| Diazinon         | 0.090            | 12           |

#### LA ACTIVIDAD PETROLERA

La contaminación marina por petróleo y sus derivados es el problema de mayor importancia ecológica en las costas mexicanas, actualmente (Ponce-Vélez y Botello, 2005). Los niveles de hidrocarburos disper-

sos en la zona marina son altos, particularmente en las áreas de intenso tráfico marino y donde ocurren las actividades relacionadas con la industria (figura 1). El petróleo y sus derivados se encuentran dispersos en el agua, los sedimentos e incluso en los seres vivos. Ponce-Vélez y Botello (2005) citan que las aguas de los ríos Tuxpan y Coatzacoalcos y del Puerto de Veracruz presentan valores promedio elevados, con 20 $\mu$ g/l, 14 $\mu$ g/l y 14 $\mu$ g/l, respectivamente.

Las concentraciones del petróleo y sus derivados en los sedimentos de los sistemas costeros de Veracruz son altas, comparadas con lo que ocurre en la zona oceánica. Por ejemplo, se ha registrado una concentración promedio de 348.5  $\mu$ g/g de HCT (hidrocarburos totales) que supera hasta en cuatro veces la concentración que ocurre en la zona oceánica (Ponce-Vélez y Botello, 2005). Por otra parte, los valores promedio más altos de HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos que resultan de los procesos de combustión) ocurre en sedimentos veracruzanos (5.6  $\mu$ g/g). La alta concentración de hidrocarburos en los sistemas costeros (lagunas y estuarios) con respecto al mar abierto resulta del arrastre producido por los ríos y la dinámica de los sistemas estuarinos.

Los estudios efectuados por Botello y Paéz-Osuna (1986) en peces comerciales costeros, citan la presencia de niveles bajos de hidrocarburos en peces y crustáceos, sin embargo, estos valores pueden aumentar y llegar a ser tóxicos. Los efectos del petróleo y sus derivados sobre los organismos vivos son variados, dependiendo de varios factores y condiciones. De manera general, el daño es más intenso cuando ocurre en lagunas costeras, sistemas estuarinos y áreas intermareales, ya que éstos son sitios de crianza y alimentación de una gran cantidad de especies marinas (Ponce-Vélez y Botello, 2005) siendo las etapas juveniles las más sensibles. Los derrames de petróleo y el vertimiento de sus derivados pueden afectar la fisiología general y los patrones de conducta de los seres vivos.



FIGURA 1. Plataforma de Pemex en la costa veracruzana (Foto: José Ángel Galindo).

## PESCA Y TURISMO

La producción pesquera en 1999 para Veracruz fue de 136 328 t, lo que representa el 10.6 % del total nacional (Semarnat, 1999) debido a su gran diversidad de ecosistemas costeros. En los registros estadísticos de pesca se incluyen 190 nombres comunes de peces, crustáceos y moluscos (Quiroga-Brahms *et al.*, 2002). La actividad pesquera en el estado se desarrolla en lagunas, estuarios y sobre la plataforma continental, para lo que se utilizan artes de pesca artesanales, como atarrayas, redes de enmalle, palangres, entre otras, y embarcaciones menores. Por esto el registro de pescadores y embarcaciones es uno de los más altos en México (Quiroga-Brahms *et al.*, 2002). Debido a que las estrategias de pesca son poco selectivas, como las redes de arrastre camaronero, los palangres atuneros y las redes de enmalle, se puede afectar la diversidad biológica (figura 2). Por ejemplo, existe una disminución de la pesca de tiburones, pues aunque el promedio de extracción en los últimos 30 años se ha mantenido en 2 000 t anuales, pasó de capturar 5 500 t en 1984 a 1 500 t en 1998 (Mata *et al.*, 2002).

Las actividades turísticas son importantes en las costas de Veracruz, especialmente en las zonas de playa, áreas de manglar y arrecifes coralinos. Wong-Chang y Barrera-Escorcia (2005) citan valores de coliformes totales (1100 NMP/100ml) en las playas del Puerto de Veracruz que se ubican en el rango que cita la norma oficial mexicana. Por otro lado, los ecosistemas de arrecifes coralinos y de manglar se han convertido en atractivos turísticos por la belleza que resulta de su notable diversidad biológica, pero, salvo el Sistema Arrecifal Veracruzano y algunas áreas restringidas (*e.g.* La Mancha), no se cuenta con una vigilancia adecuada y es común la extracción de organismos con fines de ornato. En arrecifes coralinos del norte de Veracruz se ha observado la captura de peces cuyas poblaciones son pequeñas (pez gallo), así como la recolección de conchas y esqueletos de organismos marinos.



FIGURA 2. Barco pesquero perteneciente a la flota camaronera de Veracruz (Foto: Carlos González Gándara).

## FENÓMENOS NATURALES

Los fenómenos naturales (nortes, ciclones o huracanes, deslaves, entre otros) pueden modificar los rasgos físicos de los ecosistemas costeros, particular-

mente las playas, islas, arrecifes coralinos, manglares y sistemas estuarinos. Los huracanes Dean y Lorenzo que irrumpieron en las costas del norte de Veracruz en 2007, provocaron cambios en las playas y debido a la acción erosiva se modificaron sus dimensiones. En el caso particular de los arrecifes coralinos, se provocó la ruptura y deposición de las colonias coralinas, especialmente las más frágiles como el coral cuernos de alce (figura 3) y el coral de fuego que se ubican en las zonas donde el oleaje es más intenso. Por otra parte, eventos de blanqueamiento coralino (figura 4) se han observado en los arrecifes del norte de Veracruz durante octubre y noviembre de 2007 (González-Gándara, 2008), lo cual indica un alto nivel de estrés en las comunidades coralinas. A gran escala, el cambio climático global constituye uno de los mayores problemas que enfrenta el ambiente marino, ya que los cambios en las características de éste pueden modificar la composición, distribución y abundancia de especies y, como consecuencia, generar cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos.



FIGURA 3. Ruptura de *Acropora palmata* producida por el huracán Dean en arrecifes del norte de Veracruz (Foto: Carlos González Gándara).



FIGURA 4. Blanqueamiento de *Millepora alcicornis* en arrecifes del norte de Veracruz (Foto: Carlos González Gándara).

## CONCLUSIONES

El ambiente marino veracruzano, por ser el contenedor de las aguas procedentes de los estados de México, Hidalgo, Puebla, Oaxaca y el mismo Veracruz, está expuesto a muchas amenazas, destacando la acumulación de metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos y microorganismos en la columna de agua, en los sedimentos y en los organismos presentes, especialmente en los sistemas estuarino lagunares.

El manejo de los procesos productivos que se desarrollan en los ecosistemas costeros y marinos (explotación de petróleo, generación de energía eléctrica) debe ser regulado estrictamente para reducir sus efectos al ambiente.

Es importante contar con información básica sobre los procesos oceanográficos y biológicos que permita prevenir y mitigar los efectos de los fenómenos naturales y de origen humano sobre los ecosistemas costeros y marinos, para lo cual se deben ordenar las actividades productivas considerando la participación de todos los sectores sociales, políticos y económicos del estado.

## LITERATURA CITADA

- ALBERT, L.A. y J.A. Benítez, 2005, Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 157-175.
- BARRERA-ESCORCIA, G. e I. Wong-Chang, 2005, Diagnóstico de la contaminación microbiológica en el Golfo de México, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 515-523.
- BARRERA-ESCORCIA, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo y F. Saavedra-Villeda, 1999, Evaluación microbiológica de la laguna de Tamiahua, Veracruz, en el ciclo 1994-1995, *Hidrobiológica* 9(2): 125-134.
- BOTELLO, A.V. y F. Páez-Osuna, 1986, *El problema crucial: la contaminación*, Serie Medio Ambiente y Desarrollo en Coatzacoalcos, Centro de Ecodesarrollo, México, 180 pp.
- FUENTES-MATA, P.C.M. Rodríguez-Mouriño, R.M. Lorán-Núñez, N. García-Hernández, F.E. Escudero-González y V.S. Echevarría-Reyes, 2002, Pesquería de tiburones y rayas, en P. Guzmán-Amaya, C. Quiroga-Brahms, C. Díaz-Luna, D. Fuentes-Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (coords.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Sagarpa/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad Veracruzana, pp.187-194.
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C., 2008, Blanqueamiento en arrecifes coralinos de Tuxpan, Veracruz, *La Ciencia y el Hombre*, 21(2): 11-12.
- GUZMÁN-AMAYA, P., S. Villanueva, F. y A.V. Botello, 2005, Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot, y C. Agraz-Hernández, (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 361-372.
- MCDOWELL, J., M. Moore y J. Widdows, 1988, Effects of toxic chemicals in the marine environment: Predictions of impacts from laboratory studies, *Aquatic Toxicology* 11: 303-311.
- PONCE-VÉLEZ, G. y A.V. Botello, 2005, Niveles de hidrocarburos en el Golfo de México, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 269-297.
- QUIROGA-BRAHMS, C., A. Valdéz-Guzmán, P. Guzmán-Amaya y M. García-Gómez, 2002, Pesca de arrastre de escama, en P. Guzmán-Amaya, C. Quiroga-Brahms, C. Díaz-Luna, D. Fuentes-Castellanos, C.M. Contreras y G. Silva-López (coords.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*, Sagarpa/Instituto Nacional de la Pesca/Universidad Veracruzana, pp.167-176.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat), 1999, *Anuario Estadístico de Pesca*, Dirección General de Planeación, Estadística e Informática, México.
- SOBRINO-FIGUEROA, A., A.V. Botello y S. Villanueva-Fragoso, 2005, Efectos de compuestos genotóxicos de tres sistemas costeros de Veracruz, en A.V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 141-156.

WONG-CHANG, I. y G. Barrera Escorcía, 2005, Estado actual de la contaminación microbiológica en el Golfo de México, en A.V. Botello, J. Rendon-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto*

*ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª ed., Universidad Autónoma de Campeche/ Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, pp. 487-504.